O. f 42
Quedne
Cd. W. 62.
42
Dehÿ. 3
Bibliothek
Bay. Pionier-Bataillon 7
STAB
Nr.
A. hydr. 1547 f/1

Digitized by Google

60:81 4
3 fe

Digitized by Google

Digitized by Google

Handbuch

02208

der

theoretischen und praktischen

Wasserbaukunst

von

A. C. Gudme
Königl. Dänischem Land-Inspector.

Erster Band.

Mit siebenzehn Kupfertafeln.

Berlin, bei August Rücker.

Bibliothek
Bay. Pionier-Bataillon 7
STAB
Abt. Nr.
21/69/2141

Digitized by Google

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Altbestand 5962

E Nr 56846

Judm

Digitized by Google

Vorrede.

Die seit der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts über die Wasserbaukunst erschienenen Schriften enthalten zwar sowohl theoretische und praktische Anweisungen zur Ausführung der nothwendigen Wasserbaue, als auch eine Beschreibung ausgeführter Baue, ihrer Folgen und Wirkungen; allein die Schriftsteller, welche über die Hydrotechnik geschrieben haben, verbreiten sich nur mehr oder weniger über einzelne Gegenstände, welche ihrem vorgesetzten Endzwecke entsprechen.

Man vermißt daher noch ein solches Werk, welches das Ganze dieser Kunst in sich begreift, und in welchem die in den verschiedenen Schriften abgehandelten Wasserbauwerke zusammen systematisch dargestellt sind. Der Mangel desselben erzeugte den Gedanken in mir, in einem Handbuche das Vorzüglichste, was in den vielen kostbaren Büchern, welche nicht jeder Baukünstler sich anzuschaffen ver-

Digitized by Google

mag, vorgetragen ist, systematisch geordnet zusammenzustellen, um ein Werk zu liefern, in welchem diejenigen, welche sich dem Wasserbaue widmen wollen, eine theoretische und praktische Anleitung zur Ausführung der vorkommenden und in den vorhandenen Schriften beschriebenen Wasserbaue finden können.

Es ist für einen Jeden, der sich einer Wissenschaft widmet, äußerst wichtig, zuvörderst die Theorie derselben, dann die darin von unsern Vorfahren und Zeitgenossen gemachten Erfahrungen kennen zu lernen, damit man die Irrthümer sowohl als das Wahre und die daraus entstehenden Folgen entdekken, und eine Uebersicht der ganzen Wissenschaft, ihrer Fortschritte und der Stufe, auf welcher sie gegenwärtig steht, erhalten kann.

Wer sich mit theoretischen Kenntnissen ausgerüstet hat, der übersieht mit einem Blicke den Zusammenhang der Theile und ihre Beziehung auf jene. Hat derselbe sich praktische Kenntnisse erworben, kennt er die Construction der frühern und spätern, gewesenen und vorhandenen Wasserbauwerke, ihre Folgen und Wirkungen, so entdeckt er leicht sowohl die Irrthümer als das Wahre und deren Folgen; alles wird ihm deutlich und des schärfsten Beweises fähig. Er ist dann im Stande, dem goldnen Grundsatze Vitruv's Folge zu leisten „thut

Digitized by Google

nie etwas, wovon ihr nicht einen guten Grund angeben könnet."

Bei der Aufgabe, wie jedes einzelne Wasserbauwerk tüchtig und mit dem mindesten Kostenaufwand auszuführen ist, entsteht auch die Frage: wie die Werke den Angriffen und Einwirkungen von Jahrhunderten widerstehen können. Die Festigkeit und Dauer eines jeden Wassergebäudes hängt von der Tüchtigkeit eines jeden Materials an sich, und von der gehörigen Verbindung desselben unter sich, ab, so wie auch jede Anlage nach den Gesetzen der Natur construirt werden muß, wenn sie den Angriffen widerstehen soll.

Mit Rücksicht hierauf werde ich zuvörderst diejenigen Theile der angewandten Mathematik ausheben, welche dem Hydrotekten zunächst Bedürfniß sind, demnächst dasjenige, welches der Construction der Wassergebäude vorangehen muß, vortragen, ehe ich zu beschreiben anfange, wie jedes einzelne Baustück vorbereitet, bearbeitet, mit andern zu einem tüchtigen Baue verbunden wird und mit dem mindesten Kostenaufwande auszuführen ist.

Hiernach wird dieser Band, nachdem ich in der allgemeinen Einleitung eine kurze Geschichte der Wasserbaukunst und eine Uebersicht ihrer Literatur vorausgeschickt habe, den theoretischen Theil der Wasserbaukunst enthalten. Da es aber nicht mein Zweck

Digitized by Google

bei Abfassung dieses Handbuches gewesen ist, die Wissenschaft der Wasserbaukunst zu erweitern, sondern zu verbreiten, so habe ich die vorhandenen Quellen benutzt, das Wesentlichste aus den vorzüglichsten Schriften ausgehoben und mich bestrebt, alle Lehren in einem logischen Zusammenhange faßlich vorzutragen.

Wenn aber die vorgetragenen theoretischen Bestimmungen innerhalb einer gewissen Gränze bleiben mußten, um nicht zu weitläufige Vorkenntnisse vorauszusetzen, so habe ich stets auf die größern Werke hingewiesen, in welchen der angehende Hydrotekt umständlichere Belehrung finden und auf deren Studium er sich hier vorbereiten kann.

Weit entfernt mir einzubilden, die Anforderungen an ein Werk über die Wasserbaukunst in ihrem ganzen Umfange erfüllt zu haben, darf ich doch erwarten, daß mein Buch als Lehrbuch den angehenden Hydrotekten, welche sich zum Nutzen des Allgemeinen zum Vollkommnern erheben wollen und können, nicht ohne Nutzen seyn werde.

Das ganze Werk wird drei Bände umfassen und ich hoffe dasselbe, da die Materialien bereits gesammelt sind, schnell zu beendigen.

Kiel im Februar 1826.

Gudme.

Digitized by Google

Inhalt.

		Seite
Einleitung		1
Erster Abschnitt.	Von den Gesetzen, nach welchen die Kräfte, die auf feste Körper wirken, gegen einander wirken müssen, wenn das Gleichgewicht erfolgen soll.	
§. 1— 2.	Einleitung	57
§. 3— 5.	Vom Gleichgewichte der Kräfte an festen Körpern	—
§. 6— 8.	Von der Zusammensetzung der Kräfte	59
§. 9—14.	Von dem Hebel	64
§. 15—22.	Vom Schwerpunkte	70
§. 23—24.	Von der Anwendung des Hebels	80
§. 25—41.	Vom Widerstande der festen Körper	81
§. 42—43.	Von der Reibung	112
§. 44.	Von der Steifigkeit der Seile	118
§. 45—54.	Von den Rollen, Flaschen- und Rollenzügen	120
§. 55—60.	Vom Rade an der Welle	132
§. 61—66.	Von der schiefen Ebene	140

Digitized by Google

		Seite
§. 67— 68.	Von dem Keile	146
§. 69— 72.	Von der Schraube	149
§. 73— 77.	Von dem Räderwerke	154
§. 78.	Maschinen zur Fortbringung schwerer Werkstücke	160
§. 79— 80.	Maschinen zum Ausziehen der Pfähle	162
§. 81— 82.	Maschinen, den Grund unterm Wasser zu ebnen	165
§. 83.	Von den zum Absägen der Pfähle unterm Wasser dienenden Sägen	168
§. 84— 85.	Von den Gewölben	171
§. 86— 89.	Von dem Drucke und Widerstande der Gewölbe	174
§. 90— 91.	Von dem Drucke der Erde gegen die Mauern	182

Zweiter Abschnitt. Von den Bewegungen der Körper und den Wirkungen der Kräfte auf feste Körper.

Einleitung		188
§. 92.	Von der Bewegung der Körper im Allgemeinen	—
§. 93— 95.	Von der gleichförmigen Bewegung	189
§. 96.	Von der gleichförmig beschleunigten Bewegung	192
§. 97.	Vom Falle und Aufsteigen der Körper in lothrechter Linie	194
§. 98.	Vom Falle auf der geneigten Ebene	197
§. 99—104.	Von der Kreisbewegung	199
§. 105.	Vom Stoße der Körper	207
§. 106—107.	Vom Stoße harter und unelastischer Körper	208
§. 108—112.	Vom Stoße elastischer Körper	210
§. 113—120.	Von den Rammmaschinen	213

Dritter Abschnitt. Von den Eigenschaften des Wassers nach den Gesetzen des Gleichgewichts.

Einleitung		230
§. 121—122.	Von dem senkrechten Drucke des Wassers auf den horizontalen Boden	232
§. 123—128.	Von dem Drucke des Wassers auf die Seitenumgebungen	235
§. 129—130.	Von dem Gleichgewichte des Wassers gegen	

Digitized by Google

Seite

feste Körper, die entweder ganz oder nur zum Theil in selbiges eingetaucht sind . 247

Vierter Abschnitt.

§. 131—137. Allgemeine Betrachtungen über die Bewegung des Wassers 250
§. 138—146. Von der Bewegung des Wassers in Flußbetten 259
§. 147—158. Von den hydraulischen Messungen . . 274
§. 159—165. Von dem Aufstauen bei Wehren und Einbauen in Flüssen 295
§. 166—171. Von der Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen 305

Fünfter Abschnitt. Von der Wasserförderung.

§. 172. Einleitung 313
§. 173. Von den Wasserpumpen 316
§. 174—180. Von den Saugpumpen 318
§. 181—183. Von den Druckpumpen 328
§. 184. Von andern erfundenen Wasserpumpen . 332
§. 185. Von der Kunststange 333
§. 186—188. Von der Pumpen-Roßkunst . . . 334
§. 189—194. Von der Wasserschnecke 339
§. 195. Von der Wasserschraube 349
§. 196—199. Von den Schöpf- und Wurfrädern . . 351
§. 200—201. Von dem Schöpfen mit Handeimern . . 358
§. 202. Von den Wurf- oder Schwungschaufeln . 361
§. 203. Von der Wasserwippe und Balancirrinne . 362
§. 204—205. Von den Schaufelwerken 363
§. 206—208. Von den Scheibenkünsten (Pöschelkünste, Paternosterwerke, Rosenkranzmühlen) . . 369
§. 209. Von der Veraischen Seilmaschine . . 374
§. 210. Von dem Effect der Schöpfmaschine . . 376
§. 211—216. Von der Dampfmaschine 379

Sechster Abschnitt. Von den Eigenschaften der Baumaterialien und ihrer Wahl.

Einleitung 389
§. 217—221. Von den natürlichen zum Wasserbau dienenden Bausteinen 390

Digitized by Google

§. 222—227. Von den künstlichen Steinen — Ziegelsteinen — und ihrer Zubereitung 395
§. 228—240. Vom Kalk und Mörtel 401
§. 241—255. Von dem Bauholze 418
§. 256—258. Von den Pfählen 432
§. 259—265. Vom Eisen 439

Digitized by Google

Einleitung.

Ein Baumstamm, den der Zahn der Zeit gehöhlt, der Sturm vom Ufer in die forttreibende Fluth gestürzt hatte, lehrte die Menschen, dem Strome die schwere Bürde zu vertrauen. Das schwimmende Holz erweckte den Begriff, die schäumende Woge zum willigen Lastthiere zu bändigen, und vom Begriffe des schwimmenden Baums zur stolz drohenden Feste, die kühn und siegreich das Meer durchpflügt, war nun eine Reihe fortschreitender Entdeckungen jener rastlos thätigen Geister, deren erhabenen Ursprung eben diese kühnen Fortschritte laut beurkunden.

Johann Jackson*) erzählt aus dem Berichte von Sanchoniatho, daß Usous (ein Phönicier), der einen Baum gefället und die Zweige abgehauen hatte, der Erste war, der mit einem daraus verfertigten Nachen sich auf das Meer wagte; und nach der alten Geschichte sind die Phönicier die ersten gewesen, welche das mittelländische Meer bis nach Spanien befahren haben.

*) Chronologische Alterthümer der ältesten Königreiche vom Anfange der Welt durch fünf Jahrtausende, übersetzt aus dem Englischen von Windheim. 1756. 3. Th. S. 709.

Digitized by Google

Zu der Zeit hatten die Schiffer keinen andern Wegweiser als die Sonne und die Gestirne, und waren diese mittelst Ungewitter von den Wolken verborgen, so ließ man Vögel, die man in großer Anzahl mit sich führte, fliegen, und folgte deren Flug, indem man annahm, sie würden aus Instinct sogleich dem Geburtslande zueilen. In dieser Zeitperiode bis zum Anfange des 14ten Jahrhunderts, als aus der Entdeckung der Pole, des Magnets und seiner Neigung, sich nach der Gegend der Erd- und Himmelspole zu richten, die Erfindung des Compasses veranlaßt wurde, war die Schifffahrt äußerst unvollkommen. Erst mit Hülfe des Compasses konnte man wagen, den weiten Ocean zu beschiffen. Die Umschiffung des Vorgebirges der guten Hoffnung gelang endlich Vasco de Gama, einem Portugiesen, am 20sten November 1497, nachdem diese Fahrt von Bartholomäus Diaz im Jahre 1486 aufgefunden worden war. Am 3ten August 1492 lichtete Christoph Columbus, aus Genua, im Hafen Palos die Anker, und nach und nach wurde das feste Land von Amerika entdeckt. Die Entdeckung beider Indien gab Anlaß, die Schifffahrt mit immer größerem Eifer zu betreiben, und die Spanier, Portugiesen, Engländer und Holländer suchten sie von jener Zeit an zur höchsten Vollkommenheit zu bringen. Für den inländischen Handel wurde aber die Schifffahrt bedeutungsreicher, als die Flüsse und Meere mittelst Kanäle mit einander verbunden wurden. —

Necho der zweite, ein Sohn des Psammitichus, ließ im Anfange seiner Regierung, im Jahre vor Christo 615, einen Kanal, 200 Fuß breit und 40 Fuß tief, von dem Nilflusse nach dem rothen Meere graben. Allein dieses große und nützliche Werk wurde erst unter Ptolemäus Philadelphus vollendet. Um das Wasser aufzuhalten und Schiffe hindurch zu lassen, ließ er an bequemen Orten Schleusen bauen *).

*) Johann Jackson chronologische Alterthümer der ältesten Königreiche, S. 518.

Digitized by Google

Wie und auf welche Art diese Schleusen eingerichtet gewesen, wird nicht erwähnt. Wahrscheinlich ist es nur eine Vorrichtung gewesen, bei welcher man mittelst Einlegung von Balken das Wasser aufstauen konnte, um die zur Tragung der Schiffe hinreichende Tiefe zu erhalten, welche geöffnet wurden, wenn ein Schiff durchging. Wenn bei der Schifffahrt auf den Flüssen es nicht an Wasser, sondern an Tiefe fehlte, bediente man sich, um den zu schnellen Ablauf des Stroms zu mäßigen und das Wasser in der erforderlichen Peilhöhe, zum Behuf der Schifffahrt, zurück zu halten, in den frühesten Zeiten der so genannten Stauschleusen. Diese wurden in schicklichen, dem Falle des Stromes angemessenen Entfernungen angelegt, welche verschlossen das Wasser zurückhielten, zum Durchgange der Schiffe aber, wenn mehrere sich versammelt hatten, geöffnet wurden, wo alsdann ein starker Strom durchstürzte, die nächste Strecke unterhalb unverzüglich anschwellte, worauf die Schiffe auf dem Wasserstürz hinauf oder hinab und auf dem Schwall des Stromes weiter fuhren. Diese künstliche Flußschifffahrt erfordert eine bedeutende Menge Wasser, in dessen Ermangelung die Schiffe mehrere Tage warten müssen. Obgleich diese Art Schleusen seit mehreren hundert Jahren in Europa bekannt ist, auch noch vielfältig ausgeübt wird, z. B. im Venetianischen auf dem Bachiglione, in England auf der Ober-Themse u. s. w., in Frankreich auf der Charente, der Lys u. s. w, in Deutschland auf der Stecknitz zwischen Lübeck und Lauenburg, auf der Alster bei Hamburg und vielen andern Orten in kleinen Moorkanälen; so ist doch nicht zu läugnen, daß dergleichen langsame Fahrt, wovon oft die Dauer ganz unbestimmt ist, nur für besondere Artikel und Producte, wobei keine Eile nöthig, aber keinesweges für die gewöhnlichen Güter und Waaren des Kaufmanns und Fabricanten geeignet ist. Diese erfordern eine schnellere Expedition. Erwägt man dabei, daß bei dieser Art Schleusen die häufigen Ergießungen des Stromes die Ufer angreifen und den Fluß in langen Zeiträumen ganz ver-

Digitized by Google

krümmen, wovon die genannten Flüsse, die Stecknitz und Alster, Beispiele geben, so kann man sich den Uebergang von den einfachen Schleusen zu den Doppelschleusen mit zwei Paar Thüren und einer Kammer (Schiffsbehältniß) dazwischen, welche Kammerschleusen, Kastenschleusen oder Kanalschleusen genannt worden, leicht erklären. Durch diese Art Schleusen läßt man die Schiffe von der höhern Strecke auf die niedrigere herab, oder von dieser nach jener mittelst der Schleuse hinaufsteigen, ohne den Strom durchstürzen zu lassen; die Schiffe fahren dabei nicht auf dem eigentlichen Strome, sondern auf dem Stau von einer Schleuse zur andern, weshalb diese Fahrt um vieles leichter von Statten geht, als die erstere. Freilich ist diese künstliche Flußschifffahrt kostbarer als jene, weil die Kastenschleusen mehr kosten, in größerer Anzahl nothwendig sind, und weil eine tiefere Ausgrabung der Flüsse erforderlich ist. Dagegen gewährt sie den Vortheil, daß wenn sie einmal gut eingerichtet ist, das Flußbett in beharrlich gutem Stande bleibt; auch erfordern die Kastenschleusen eine geringe Menge Wasser, daher die Schiffe zu allen Zeiten durchgelassen werden können.

Die italienischen Schriftsteller behaupten und De la Lande glaubt, indem er zum Beweis des Pater Frisi Abhandlung von den Flüssen und Strömen anführt, daß die erste Schleuse dieser Art mit doppelten Thüren ohnweit Padua auf der Brenta im Jahre 1481 durch Ingenieurs von Viterbo erfunden und erbaut worden sey, deren Zandrini im 12ten Capitel seines Werkes von den fließenden Gewässern gedenkt. Ihre Bauart war aber weit früher in Holland als in Italien bekannt; denn schon im Jahre 1253 ertheilte der Graf Wilhelm II die Erlaubniß bei Spaarndamm eine vier und zwanzig Fuß weite Kammerschleuse (Kolksluis) zu erbauen. Höchst wahrscheinlich waren noch früher Kammerschleusen in Holland vorhanden; denn nach der Verhandeling over de Verbetering der Ontlasting van Rynlands-Boezemwater waren bereits

im Jahr 1220 in Amsterdam Schleusen vorhanden, welche höchst wahrscheinlich Kammerschleusen gewesen sind. Die Behauptung einiger Schriftsteller, nach welcher Simon Stevin, ein Holländer, der Erfinder von Kammerschleusen seyn soll, ist demnach ungegründet. Derselbe hat aber zuerst im 17ten Jahrhundert den Bau der Schleuse mit einer Kammer und zwei Paar Stemmthüren, so wie auch das Verfahren oder das Schleusenspiel mittelst der in den Seitenmauern angebrachten Umläufe oder Schütten in den Thüren, um die Ein- und Auslassung des Wassers in und aus den Schleusen zu bewerkstelligen, in seinen Oeuvres mathématiques beschrieben, welche Albert Girard zu Leyden im Jahre 1634 vermehrt herausgegeben hat.

Aelter als die Kammerschleusen sind die Rollbrükken, welche schiefe Flächen sind, die in der Quere liegende Rollen haben, über welchen das Schiff aus einem unteren Kanal in den obern mit Hülfe von Treträdern oder Flaschenzügen und Winden gezogen wird. In Holland sind, nach Wiebekings Bericht, solche Rollbrücken noch anzutreffen. Gewöhnlich ist der Rücken der Fläche, welcher aus einer Walze oder Rolle besteht, über welcher das Schiff umkippt, 4 bis 8 Fuß über die Oberfläche des untern Wassers erhoben. Macartney in seinen Nachrichten über China beschreibt eine solche Vorrichtung, wobei jedoch die zwei schrägen Flächen aus festliegenden Bohlen bestehen und nur der Sattel eine Walze ist. In neuern Zeiten sind zur Vermeidung der Kammerschleusen große schräge Flächen oder auch verticale Schächte in Vorschlag gebracht worden, um die Schiffe mittelst Winden, Flaschenzügen, Wasserkübeln und Gewichten aufwärts zu bringen oder herunter zu lassen. Diese Vorrichtungen sind auch in Anwendung gebracht und in Deutschland, nämlich zu Freiberg in Sachsen, waren sie es schon lange, wiewohl man sie für eine Erfindung der Engländer ausgiebt.

Schon zu den Zeiten, als der Ackerbau begann und Gräben angelegt wurden, demnächst als man die dem An-

Digitized by Google

griffe der Hochgewässer und des Wellenschlages ausgesetzten Gründe durch einen Damm vor den sonst unvermeidlichen Ueberschwemmungen zu sichern suchte, erforderte die Nothwendigkeit den Gebrauch der Schutz-, Entwässerungs-, oder Auslaß-Schleusen, um das Wasser aufzustauen, zurückzuhalten und auszulassen. Zu den Mühlen wurden die Aufziehschützen schon vor 2000 Jahren gebraucht, und zu der Bewässerung der Wiesen bediente man sich ihrer auch in Europa zu Plinius Zeiten. Es kann keinem Zweifel unterworfen seyn, daß der Deichbau frühern Ursprungs als der Strombau ist, denn der daraus für die Bewohner der Marschländer entstehende Gewinn ist so sichtbar, daß man schon frühzeitig auf die Vervollkommnung des Deichbaues bedacht seyn mußte. In welcher Zeitperiode die ersten Deiche angelegt worden sind, läßt sich zwar nicht mit Gewißheit angeben, doch ist es höchst wahrscheinlich, daß zu Ende des 11ten oder Anfang des 12ten Jahrhunderts die ersten größeren Bedeichungen bewirkt wurden. Eine der ältesten Urkunden, welche hierüber Aufschluß giebt, ist die vom Grafen Floris V vom Jahre 1277. Nach derselben war der von den Flüssen Leck, Mervede, Yssel und Vlist umgebene Landesbezirk, Krimpener Waard genannt, schon zu Ende des 11ten Jahrhunderts gedeicht. Auch werden Deiche im Sachsenspiegel Buch II. Art. 56. erwähnt.

In Holland, dem großen Wasserstaate, dessen Existenz vom Deich- und Wasserbau abhängt, wurde dieser Theil der menschlichen Erkenntniß am frühesten ausgebildet. In den frühesten Zeiten bis zu Ende des 13ten Jahrhunderts führte ein Ausschuß der Eigenthümer (Waterschaps genannt) von den bedeichten Bezirken (Poldern) die Aufsicht über die binnenländischen Deiche, und jeder Deichhalter besorgte aus eigenen Mitteln die Unterhaltung des zur Sicherung seines Grundstückes angelegten Deiches. So wie aber die Erfahrung es lehrte, daß die Nachläßigkeit eines Grundbesitzers große Deichbrüche, und dadurch den Ruin der Nachbarn veranlaßte, so sah man bald ein, daß die Erhaltung der

Digitized by Google

Marschländer oder ihre Beschützung gegen den Angriff der hohen Fluthen, nur durch das Zusammenwirken aller zu einem natürlichen Deichbande gehörigen Grundeigenthümer nach einem Plane erreicht werden konnte. Es entstanden daher Deichgesellschaften (Deichbände), deren von der Gesellschaft erwählte Vorsteher, Deichgrafen genannt wurden. Diese letztern hatten die Oberleitung des Deichbaues zu besorgen, und veranlaßten alle desfalls nöthigen Anordnungen, welche jedoch nur für diejenigen Deichbezirke, in welchen ihnen die Oberaufsicht anvertraut war, gültig waren. Ein solches Collegium (Hoogheemraadschap) beschäftigte sich demnach mit der Administration der Deiche in technischer und polizeilicher Hinsicht, und bestand gewöhnlich außer dem Deichgrafen aus fünf bis sieben Hemrads oder Beisitzern. In einer alten Urkunde vom Könige Wilhelm II vom Jahre 1253 wird bereits der Hoogheemraadschap von Rynland *) erwähnt. Zu Ende des 13ten Jahrhunderts entstanden schon größere Deichvereine. Einer der ältesten ist der zwischen den Ländern von Arkel, Vianen, Haagestein, Everdingen und Leerdamm in Holland im Jahre 1284 errichtete, der unter dem Namen eines Deichstuhls der fünf Herren-Lande bekannt ist. In der hierüber abgeschlossenen Convention verbanden sich die fünf Herrn zur gemeinschaftlichen Beschützung ihrer Besitzungen gegen den Angriff hoher Fluthen. Da die Landesherrn nicht nur in Rücksicht der Steuererhebung, sondern auch wegen ihrer an den Seen und Flüssen gelegenen Domainen bei der Unterhaltung der Deiche interessirt waren, so zogen sie bald diesen Administrationszweig an sich, und die Oberaufsicht über das Deichbauwesen wurde nun als zum Ressort der allgemeinen Landespolizei gehörig behandelt. Das zur Verwaltung des Deichbauwesens erforderliche Personal wurde vermehrt. Außer den Oberdeichgrafen wurden auch Strombaumeister, Deichinspectoren, (Deichhauptleute,) Conducteurs,

*) Tegenwoordige Staat van Holland T. VI. und VII.

Digitized by Google

Schleusenbaumeister, dann für die Functionen des untern Personals Deichvögte, Stackmeister, Busch- und Werderpfänder u. a. m. angestellt. Auch in Holland wurden die Heemraadschaps oder Beisitzer vermehrt und in Aemter abgetheilt. Der Schultheiß jedes Amtes, welchem die Poldermeister (Schouvers oder Kroosheemraaden) untergeordnet sind, hat nebst dem Amtswächter (Ambagtsbewaarder) die Aufsicht über die in dem zugetheilten Bezirke befindlichen Deiche

In dieser ersten Periode, nämlich bis zum Schlusse des 17ten Jahrhunderts war die Einrichtung des Deichwesens äußerst unvollkommen. Die wesentlichsten Mängel bestanden sowohl 1) in der ungleichförmigen Vertheilung der Deichlast; als auch in der fehlerhaften Betreibung des Deichbaues, welcher zu jener Zeit noch in der Kindheit stand. Die frühere Eintheilung der Deichbezirke in Pfänder (kleinere Abtheilungen von Deichstrecken), welche oft von ganz verschiedener Beschaffenheit waren, machte die Vertheilung der Deichlast ungleichförmig, indem die Unterhaltung der angelegten Deiche bei einigen mit besondern Schwierigkeiten verknüpft, dagegen bei andern sehr leicht und bequem war. Die Deiche waren nicht nach der Theorie des Stromes und des Flusses construirt, sondern größtentheils lothrecht aufgeführt. Die Grundlage, die Höhe, die Böschung und die Krone der Deiche waren nicht nach der Theorie gebildet, sondern die Brustseite des Deiches zuerst mit einer Vorsetzung von Bohlen, dann mit Feldsteinen größtentheils lothrecht aufgeführt; daher auch der Ruin mancher Deiche bei mittelmäßigen Sturmfluthen veranlaßt und die Unterhaltung mancher Deichstrecken sehr kostspielig und schwierig wurde. Der Umstand, daß die gewöhnlichen Unterhaltungsarbeiten oft mit drükkender Prägravation verbunden waren, und daß es in Rücksicht der Beihülfe für den Fall der Noth an den erforderlichen Bestimmungen mangelte, machte es nothwendig, an eine gründliche Verbesserung des Deichwesens zu denken. So wurde im Jahre 1680 in den Grafschaften Oldenburg

Digitized by Google

und Delmenhorst eine eigene Commission zur Revision des Deichwesens angeordnet. Die Resultate der Verhandlungen dieser Commission hat Anton Günther von Münnich in einer Schrift, betitelt Oldenburgischer Deichband, Leipzig 1767, mitgetheilt.

Wenn gleich bei dieser Veranlassung beschlossen wurde, daß 1) den in Rücksicht des Deichbaues Prägravirten nicht nur bei der gewöhnlichen Deichsunterhaltung, sondern auch in außerordentlichen Fällen eine Erleichterung zu Theil werden sollte; 2) zu der an Nothdeichen jährlich erforderlichen Beihülfe ein eigener Fond (Deichkasse) errichtet, und hierzu von den vormals deichfreien Ländereien, welchen keine Deichsunterhaltung in natura zugetheilt war, jährliche Beiträge in Geld geleistet werden sollte; und daß 3) alle bei Deichsangelegenheiten vorkommenden Streitigkeiten mittelst summarischen Verfahrens erledigt werden sollten; so bestätigte sich dennoch die Schädlichkeit der Eintheilung der Deichbezirke in Pfänder, weil einige Deichstrecken gut, andere aber höchst nachlässig unterhalten wurden. Man sah sich daher genöthigt, den Communionfuß oder die Generaldeichwirthschaft einzuführen, bei welcher die einzelnen Interessenten nur als Deichpflichtige erschienen, der gesammte Deichband aber als eine Commune behandelt wird. Vermittelst dieser vortheilhaften Einrichtung konnte nun nach einem zusammenhängenden Plane verfahren werden, welches bei der Pfändereintheilung nicht möglich war. Mit der Einführung der Generaldeichwirthschaft begann die zweite Periode des Deichwesens.

Im Herzogthum Holstein ist die Wilstersche Deichordnung vom Jahre 1438 die älteste. (M. s. Miscellaneen von J. C. H. Dreyer, Lübeck 1784.)

Im Jahre 1803 wurde für die Herzogthümer Schleswig und Holstein ein Deichreglement zur besseren Organisirung des Deichwesens erlassen, nach welchem alle diejenigen Marschländereien, welche von einem und demselben Hauptdeich solchergestalt Schutz genießen, daß sie, wenn

Digitized by Google

derselbe auf dem einen oder dem andern Punkte von der Fluth weggerissen werden sollte, sämmtlich der Ueberschwemmung ausgesetzt wären, unter einander zur gegenseitigen Beihülfe in gewissen außerordentlichen Fällen verpflichtet sind, oder, welches einerlei ist, unter sich einen natürlichen Deichband ausmachen. Es sind demnach die sämmtlichen Marschen in gewisse Districte, von welchen ein jeder eine besondere Corporation oder einen Deichband ausmacht, eingetheilt worden. Alle ordentlichen Refectionsarbeiten der Deiche werden von den Interessenten der Commune und Kroege, welchen die Unterhaltung des Deiches obliegt, beschafft. Alle außerordentlichen Arbeiten an den Deichen werden auf Kosten des ganzen Deichbandes geleistet. Uebersteigen die ordinairen Refectionsarbeiten eines Deiches, wegen seiner gefährlichen Lage und vermittelst wiederholter Beschädigungen, im Laufe eines Jahres aber die Prägravationssumme von 1 Mark für jede 100 Quadratruthen deichpflichtigen Landes, die Längenruthe zu 16 Fuß Rheinl. gerechnet, so müssen die übrigen Communen, welche mit derselben einen Deichband ausmachen, Beihülfe leisten.

Wenn auch durch die Einführung der Generaldeichwirthschaft oder des Communionfußes manche bisher der bessern Behandlung des Deichbaues im Wege gestandenen Hindernisse beseitigt wurden, so blieb doch im 17ten Jahrhunderte und zu Anfang des 18ten der Mangel an geschickten und erfahrnen Ingenieurs eben so fühlbar, als für die Betreibung des Deichbaues nachtheilig. Erst gegen die Mitte des 18ten Jahrhunderts machte die Wasserbaukunst, insbesondere die Deichbaukunst bedeutende Fortschritte. Zu dieser Zeit, und zwar in der letzten Hälfte des 18ten Jahrhunderts, traten Männer auf, welche wissenschaftlich gebildet, und fähiger waren die zur Vervollkommnung des Deichbaues bezweckenden Pläne zu entwerfen. Hiermit beginnt die dritte Periode des Deichwesens.

In der Mitte des vorigen Jahrhunderts haben in Holland Lulof, Bolstra, Redelykheid, Zilissen; in Deutschland

Digitized by Google

Brahm *), Hunrich **), und Silberschlag ***) sich um die Deichbaukunst verdient gemacht. In neuern Zeiten hat der Erfinder des Tachometer oder Geschwindigkeitsmessers Brünning, der auch durch seine Vorschläge zur Verbesserung der Fahrbarkeit des westlichen Ystroms, welche im 24sten Bande der gedruckten Verhandlungen der Akademie der Wissenschaften zu Harlem enthalten sind, bekannt ist, sich um die Verbesserung des holländischen Deichbaues Verdienst erworben. Auch hat der Director des holländischen Wasserbaues und der Erfinder der Fächerschleusen †), Blanken, sich um die Verbesserung des mit dem Fluß- und Deichbaue in unzertrennlichem Zusammenhange stehenden Schleusenbaues verdient gemacht. Nach seiner Ansicht ist die bisher bewirkte Erhöhung der Flußdeiche Hollands eine Mitursache der in den letzten Jahren eingetretenen Ueberschwemmungen, denen er durch Anlage von Deichöffnungen, die durch Schleusen verschlossen werden können, begegnen will. In Frankreich haben Bossut und Viallet, veranlaßt durch die von der Akademie der Wissenschaften zu Toulouse ausgesetzte Preisfrage, eine Abhandlung über die beste Construction der Deiche herausgegeben ††).

In Deutschland ist von von Riedel eine ausführliche Anleitung zur Strom- und Deichbaukunst im Jahre 1800

---

*) Anfangsgründe der Deich- oder Wasserbaukunst von Albrecht Brahm, Aurich 1757. 2 Theile.

**) Praktische Anleitung zum Deich-, Sielen- und Schlengenbau von J. W. A. Hunrich, Bremen 1770. 2 Theile.

***) Ausführliche Abhandlung der Hydrotechnik oder des Wasserbaues. Leipzig 1771. 2 Thle. Abhandlung vom Wasserbau an Strömen. Leipzig 1766.

†) Crelle Archiv für die Baukunst und ihre Hülfswissenschaften. Berlin 1818. Heft 1. S. 14 und Wiebekings allgem. Wasserbaukunst. B. IV. S. 54.

††) Solche ist von Krönke ins Deutsche übersetzt. Frankfurt 1798.

Digitized by Google

zu Berlin erschienen. Buchholz hat ein Werk, betitelt: Versuch einer praktischen Darstellung des Deich- und Faschinenbaues an der Ober-Elbe mit Vorrede von Eytelwein, herausgegeben, und von Börm ist ein Abriß der Deichkunde im Jahre 1812 zu Altona erschienen.

Auch bemerke ich hier der Vollständigkeit wegen Stieglitz Encyklopädie 5 Bände, Leipzig 1792—1798; Kirkmanns Anleitung zur Deich-, Schleusen- und Stackbaukunst. Lüneburg 1797. Benzlers Lexikon über die beim Deich- und Wasserbaue vorkommenden Kunstwörter und Ausdrücke, 2 Bände.

Dem berühmten Hydrotekten Wiebeking verdanken wir, außer vielen andern Schriften, die in den Jahren 1798—1807 in 5 Quartbänden mit 101 Kupfern herausgegebene allgemeine theoretische und praktische Wasserbaukunst, welches Werk für jeden Ingenieur, der den gegenwärtigen Stand der Wissenschaft genau kennen lernen will, unentbehrlich ist. — Außer vielen andern, zum Theil sehr bedeutenden Bauwerken, welche Wiebeking ausgeführt hat, sind auch die in der ehemaligen Grafschaft Katzenellenbogen, zum Großherzogthum Hessen gehörig, in den Jahren 1799 bis 1802 angelegten Deiche, welche bisher den größten Hochgewässern Widerstand geleistet haben, unter seiner Direction entstanden.

Die ältern Schriftsteller, welche vom Flußrechte handeln, wohin Noe Meurers Wasserrecht, Köln 1663, Fritzsch Jus fluviaticum 3 Theile, Jena 1672 u. a. m. gehören, trugen zwar zur Ausbildung des Flußrechtes manches bei; da aber die Wasserbaukunst zu jener Zeit noch in der Kindheit und zu wenig geachtet war, so scheint die Vervollkommnung dieses Zweiges der menschlichen Erkenntniß den neuesten Zeiten vorbehalten zu seyn. Unter den Schriftstellern, welche vom Wasserrechte handeln, verdienen insbesondere Cancrins Abhandlungen von dem Wasserrechte, 2 Bände, Halle 1789 und 1790 erwähnt zu werden. Auch in diesem Werke trifft man häufig Spuren

Digitized by Google

des damals noch unvollkommenen Zustandes der Wasserbaukunst an.

Dem Mangel einer zweckmäßigern Fluß- und Deichbaupolizei-Ordnung hat der Dr. Rousseau durch seine Beiträge zur Deich- und Flußbaupolizei-Gesetzgebung, nebst einem Anhange über die bei Hochgewässern oder Eisgängen nothwendigen Vorkehrungen, abgeholfen. Dieses nützliche und sehr lehrreiche Werk ist zu Nürnberg im Jahre 1820 erschienen. Ueber das Deich- und Strombau-Recht mit einem Entwurfe zu einer verbesserten Deich- und Strombau-Verfassung ist ein Werk von Dammert zu Hannover im Jahre 1816 erschienen. Auch hat Woltmann ein Werk über das baurechtliche Verfahren bei Verbesserungen der Flüsse im Jahre 1820 zu Hamburg herausgegeben.

Unstreitig ist Belidor der erste, welcher den Kanalbau als einen Theil der Wasserbaukunst wissenschaftlich behandelt, allgemeine Grundsätze angegeben, und solche durch gute Muster von wirklich ausgeführten Werken einleuchtend und lehrreich zu machen gesucht hat. Zu Sulzbach ist 1764—78 die 4te Auflage seines Werks, betitelt Architectura hydraulica, oder die Kunst, das Wasser zu den verschiedenen Nothwendigkeiten des menschlichen Lebens zu leiten, in die Höhe zu bringen und vortheilhaft anzuwenden, 2 Bde. in 24 Theilen mit 219 Kupfern, erschienen. Nach ihm haben mehrere Männer sich um die Wasserbaukunst und den Kanalbau Verdienste erworben. Im Jahre 1772—73 hat Silberschlag eine ausführliche Abhandlung der Hydrotechnik oder des Wasserbaues mit 30 Kupfern zu Leipzig herausgegeben. — Ein zwar nicht systematisches, aber doch sehr wichtiges Werk, hat der Astronom De la Lande 1778 unter dem Titel des Canaux de Navigation et spécialement du Canal de Languedoc zu Paris herausgegeben. Die Geschichte dieses Kanals ist sehr ausführlich beschrieben und außerdem enthält dieses Werk noch die Geschichte aller in und außerhalb Europa angelegten,

Digitized by Google

wie auch zum Theil der in Arbeit begriffenen und projectirten Kanäle, wovon einige sehr ausführlich abgehandelt sind. — Zu London hat 1793 J. Philips in Groß-Quart herausgegeben a general History of inland navigation, foreign and domestic, nebst vier Kupfertafeln und einer Karte, welche alle in England bis dahin gemachte und projectirte Kanäle enthält. Die Beschreibung der englischen Kanäle ist nichts weniger als lehrreich, und besteht aus gesammelten Streitschriften und Parlementsacten, welche die angelegten und projectirten Kanäle veranlaßt haben. Alles was man daraus abnehmen kann, ist der schnelle Fortgang des Kanalbaues in England, und der außerordentliche Eifer, womit derselbe betrieben worden. —

Von Scheyer ist eine ökonomische Wasserbaukunst in 2 Bänden zu Leipzig in dem Jahre 1800 erschienen, und demnächst von ihm ebendaselbst der dritte Band den Wasserbau enthaltend, herausgegeben worden. Der erste Band ist in der 3ten Auflage (Leipz. 1820) von Langsdorf mit Anmerkungen versehen, den 2ten Bd. aber hat Suckow in der 2ten Aufl. (Leipz. 1803) mit einer Vorrede begleitet. Das Werk von Andreossy, betitelt: Histoire du Canal du Midi ou de Languedoc, welches 1800 erschienen ist, ist von dem Wasserbaudirector Woltmann in seinen 1802 herausgegebenen Beiträgen zur Baukunst schiffbarer Kanäle frei übersetzt worden. Außer diesem Werke sind auch von demselben 1791 — 99, Beiträge zur hydraulischen Architektur, vier Bände, zu Göttingen erschienen. — Eine praktische Anweisung zur Baukunst schiffbarer Kanäle, wie solche zu entwerfen, mit allen dabei vorkommenden Werken einzurichten, zu erbauen, und die Anschläge davon zu verfertigen sind, wobei besonders der französische Kanal von Languedoc als Muster aufgestellt wird, ist von Hogrewe zu Göttingen mit einer Karte vom Kanal von Languedoc und siebenzehn illuminirten Kupfern im Jahre 1805 herausgegeben und in Hannover erschienen.

Dem eben so geschickten als thätigen und berühmten

Digitized by Google

Hydrotekten, Oberbaurath Eytelwein verdanken wir, außer seiner Anweisung zur Construction der Faschinenwerke, die praktische Anweisung zur Wasserbaukunst, welche eine Anleitung zum Entwerfen, Veranschlagen und zur Ausführung der am gewöhnlichsten vorkommenden Wasserbaue im Preußischen enthält. Dieses lehrreiche und sehr zu empfehlende Werk ist für jeden Baumeister, dem es um reelle Ausführung zu thun ist, unentbehrlich. Es enthält keine Beschreibung ausgeführter Baue, sondern eine Anweisung zum Bauen, woraus der angehende Baumeister dasjenige, was er sucht, im erforderlichen Zusammenhange erlernen kann. Die beiden ersten Hefte, zweite Auflage, mit 28 Kupfertafeln, welche von den Pfählen, den Rammen, den Fangdämmen und von den Maschinen zum Ausschöpfen des Wassers aus dem Grundbaue handeln, sind von Gilly und Eytelwein, das erste im Jahre 1809 und das zweite im Jahre 1818 herausgegeben, das dritte und vierte Heft mit 19 Kupfertafeln, welche von den Bollwerken, Futtermauern und vom Bau der Schifffahrtsschleusen handeln, hat Eytelwein 1808 und 1820 allein bearbeitet.

Im Jahr 1817 ist zu Pesth eine Anleitung zu dem Entwurf und der Ausführung schiffbarer Kanäle von Maillard erschienen. Auch verdient die kleine Schrift von Hirt, betitelt: Versuch über den Anbau und Wasserbau des alten Egyptens, Berlin 1815, angeführt zu werden.

Schließlich will ich hier noch zwei wenig lehrreiche Bücher über projectirte Kanäle zwar anführen, aber nicht empfehlen. Das erste ist in Quart, betitelt: Navigation de Bourgogne ou Mémoires et Projects pour augmenter et etablir la Navigation sur les Rivières du Duché de Bourgogne. Par Antoine. Amsterdam 1774. Das zweite ist in Octav, betitelt: Canal de Provence ou Canal d'Aix et de Marseille. Par Floquet; Paris 1750.

Außer diesen angeführten Schriften enthalten auch nachstehende Schriften wichtige Lehren von den Flüssen:

Digitized by Google

Bernhards Neue Grundlehren der Hydraulik mit ihrer Anwendung auf die wichtigsten Theile der Hydrotechnik, aus dem Französischen mit Anmerkungen von K. C. Langsdorf, Leipzig und Frankfurt 1790. 8.

Funks Beiträge zur allgemeinen Wasserbaukunst, Lemgo 1808, und dessen Versuch einer Darstellung der wichtigsten Lehren der Hydraulik. Berlin 1820.

Praktische Anleitung zum Flußbaue, von H. Freiherrn von Pechmann, 1ster Bd. München 1825.

Frühzeitig ist man auf die Vervollkommnung des Deichbaues bedacht gewesen, um der zerstörenden Kraft der Hochgewässer und des Wellenschlages Grenzen zu setzen, und um den Verheerungen, welche durch das Austreten von Flüssen, so wie durch die in denselben sich fortwälzenden Eismassen verursacht wurden, vorzubeugen. Die Erreichung dieses Zweckes, mit den Gesetzen der Natur übereinstimmend bewirkt, hängt sehr genau mit der Fahrbarkeit der Flüsse zusammen; denn in beiden Fällen muß der Fluß in einen Zustand, in welchem er seine Wassermasse gleichförmig durch unveränderte Profile der Betten abführt, gesetzt werden. So unverkennbar die Nothwendigkeit ist, die Ufer in Sicherheit zu setzen, so sichtbar ist auch der Gewinn zweckmäßig geleiteter Flüsse, indem sie, zum Behuf der Schifffahrt eingerichtet, dem Commerz, der Agricultur und dem innern Verkehr vielfältige Vortheile gewähren.

Karl der Große soll, wie uns Hogrewe in seiner Beschreibung der schiffbaren Kanäle erzählt, im Jahre 780 die Absicht gehabt haben, die Altmühl, die bei Kehlheim oberhalb Regensburg in die Donau fällt, mit der Rednitz, die bei Bamberg in den Mayn sich ergießt, mittelst eines schiffbaren Kanals zu verbinden. Empörungen und andere Zufälle sollen aber dieses bereits angefangene Werk, dessen Spuren bei Weissenburg im Eichstädtschen noch zu sehen sind, verhindert haben. Wahrscheinlich ist aber auch wohl die Unvollkommenheit der, in alten Zeiten üblichen, Stauschleusen, so wie der Mangel an Kenntniß

Digitized by Google

unserer jetzigen Kastenschleusen, Schuld daran gewesen. Seit der Erfindung der letztern sind viele Kanäle zur Beförderung des Handelsverkehrs angelegt worden. Fast ganz England ist von schiffbaren Kanälen durchschnitten, unter denen der Kanal zwischen Liverpool und Hull, der die irländische See mit der Nordsee verbindet, besonders merkwürdig ist *).

Durch die Vervielfältigung der eisernen Wege, auf welchen die Fuhrwerke durch Dampfmaschinen fortbewegt werden, dürften vielleicht in England viele der kostbaren Kanäle binnen kurzem den Nutzen, den sie bisher gehabt haben, verlieren, und völlig entbehrlich werden. — Das wichtige Werk, der so genannte Kaledonische Kanal, ist dennoch in der letzten Zeit auf Kosten der Regierung zu Stande gebracht worden. Dieser Kanal, welcher quer durch Schottland, etwa 14 Meilen von Inverneß bis Fort William geht, hat den Zweck, den Schiffen, welche aus der Ost- und Nordsee kommen, die beschwerliche Fahrt um Schottland zu ersparen. Die Natur hatte die Verbindung durch eine Reihe von Seen angegeben; aber an manchen Stellen hat man diese nicht benutzen können, sondern war genöthigt, den gegen 19 Fuß tiefen und 116 Fuß breiten Wasserweg über Schluchten zu führen, die das interessante Schauspiel gewähren, daß Schiffe von 12 bis 1500 Tonnen über tiefe Thäler segeln. Von den 12 ungeheuren Schleusen sind 4 dicht hinter einander am Ausflusse beim Fort William angebracht worden, und bilden die so genannte Neptunsleiter, wo die Schiffe jedesmal gegen 6 Fuß herabgelassen werden.

Der Holländer hat nicht allein sein Vaterland dem Meere zu entreißen und vor seinen Verheerungen zu schützen verstanden, sondern die künstlich angelegten Abwässerungs-

*) S. Beschreibung der in England seit 1750 angelegten und jetzt größtentheils vollendeten schiffbaren Kanäle zur innern Gemeinschaft der vornehmsten Handelsstädte, von Hogrewe, Hannover 1780.

kanäle und Schleusen so ausgeführt, daß sie zum schnelleren und wohlfeileren Transport der Waaren, und Reisenden dienen. —

Frankreich hat den Binnen-Handel durch die Anlage des Kanals du Midi oder von Languedoc, der das mittelländische Meer mit dem Ocean verbindet, sehr befördert; und in den ersten 12 Jahren dieses Jahrhunderts hat dasselbe an seine Kanäle, Straßen und Brücken 140,957,485 Francs verwendet *).

Deutschland und vorzüglich Preußen haben große Summen an Kunststraßen, Brücken und Schifffahrtsanstalten verwendet. Durch die stufenweise Verbindung der Weichsel, Oder, Spree und Havel mit der Elbe hat Preußen sich fast von Rußlands Gränzen bis in das Herz seiner Staaten eine inländische Schifffahrt gebahnt, und außerdem mehrere andere für die Nation wohlthätige Wasserstraßen angelegt. — Die Stecknitzfahrt zwischen Lübeck und Hamburg; der Kanal von Frankenthal in der Pfalz am Rhein; der Kanal von Münster nach Marhafen und andere schiffbare große Entwässerungs- und Vehn-Kanäle in Oldenburg und Ostfriesland **), verdienen als deutsche Anlagen erwähnt zu werden. — Die Verbindung der Moldau mit der Donau wurde schon im 14ten Jahrhundert auf Befehl Kaiser Karl IV untersucht, kam aber nicht zur Ausführung. Dagegen findet man Spuren von der Anlage eines Verbindungskanals zwischen den im Mühlkreise in der Gegend von Algen und Neufelden von Norden nach Süden gehenden und in die Donau sich ergießenden Gewässern Groß- und Klein-Mühl und dem Aust. Um die Donau und Moldau mit einander zu verbinden, welche 16½ Meile von einander entfernt liegen, hat man gegenwärtig den Vorschlag gemacht, dieses durch eine Eisenbahn zu be-

*) S. politisches Journal December 1815.

**) S. Ostfries- und Harlingerland von J. C. Freese, Aurich 1796.

Digitized by Google

werkstelligen, da eine Verbindung mittelst eines Kanals zu kostspielig seyn würde. Es verdient hier bemerkt zu werden, daß J. von Baader in München der erste in Deutschland gewesen ist, welcher die Möglichkeit gezeigt hat, wie Eisenbahnen auf jedem abhängigen Boden über Berg und Thal angelegt werden können, und wie jede Last bequem, leicht, wohlfeil und schnell darauf fortgeschafft werden kann. Vollständige Belehrung darüber ertheilt er in seinem Werke: Neues System der fortschaffenden Mechanik, München 1822. —

Die Vereinigung der zwei größten Flüsse Deutschlands, der Donau und des Rheins, und durch sie die Gründung einer das ganze feste Land von Europa in dessen Mittelpunkt durchschneidenden Wasserstraße, hat, wie wir bereits gesehen haben, schon Karl den Großen beschäftigt. In den neuern Zeiten hatte Napoleon dieselbe Idee; denn es ist bekannt, daß der französische General Andreossy (dessen Oheim die Geschichte des berühmten Kanals von Languedoc schrieb), bei seiner Anwesenheit in Franken die Gegend im Jahre 1800 aufnehmen ließ. — Ueber die Verbindung der Donau mit dem Main und Rhein ist ein Versuch vom Grafen v. Soden, der Maximilian's-Kanal betitelt, zu Nürnberg 1822 erschienen.

Ungarn und Spanien, die in solchen Anlagen, welche den innern Handel befördern, hinter vielen Staaten bis dahin noch zurück standen, sind auch nicht ganz ohne Kanäle. Ersteres hat nicht nur den schiffbaren Kanal von Temeswar, sondern es ist auch im Jahre 1797 der Kanal, welcher Wien mit Neustadt, Oedenburg und Raab in Verbindung setzen soll, eröffnet worden*). — Spanien besitzt unter andern den seit 1778 gebauten, prachtvollen Kanal von Aragonien. — Italien hat besonders im 15ten und 16ten Jahrhundert,

*) S. der deutsche Handelskanal von Reinhold und Oltmanns 1817. S. 38. Cramer über die Wichtigkeit der Schifffahrt auf den Strömen Düsseldorf 1818.

Digitized by Google

doch auch früher und späterhin, bedeutende schiffbare Kanäle erhalten. —

Unter allen in neuern Zeiten bewerkstelligten und noch zum Theil in Ausführung begriffenen Kanälen werden aber mit Recht die in Schweden seit dem Jahre 1794 angelegten unter die größten und merkwürdigsten gezählt. Diese großen Wassercommunicationen gehen von Gothenburg nach dem Wenersee, und von da zum See Wicken in den See Wetter, von diesem zum Bohren, dann zum Roxen und endlich zur Ostsee. Die erste Kanalunternehmung bestand in der Anlage des Trollhätta-Kanals unterhalb des Wenersees und in der Schiffbarmachung des Flusses Göthaelf, wodurch zwischen dem Wener- und der Nordsee eine Verbindung entstand. Sie wurde im ersten Viertel des vorigen Jahrhunderts von Pullhelm angefangen, und von Thunberg fortgesetzt; ihr schwierigster Theil aber, das ist, der Kanal Trollhätta, womit den hohen Wasserfällen des genannten Flusses ausgewichen ist, von dem Ingenieur Nordwall, in den Jahren 1794—1800, ausgeführt. — Die zweite große Kanalunternehmung in Schweden ist der Götha-Kanal, der bei dem Wenersee anfängt, und die obenerwähnten Seen vermittelst mehrerer Kanaltheile, deren Länge 12 deutsche Meilen beträgt, verbindet. Der Wickensee bildet den Theilungspunkt; er liegt 3082 schwedische Fuß höher, als die Oberfläche der Ostsee, und 163 Fuß höher, als die des Wenersees. Diese gesammte Höhe von 3245 Fuß wird mit 54 Kammerschleusen mit eisernen Stemmthoren, jede von 120 Fuß Länge, 24 Fuß Breite und 10 Fuß Tiefe, überstiegen. Die drei letzten gegen die Ostsee liegenden Schleusen sind 30 Fuß breit und 130 Fuß lang, damit die Seeschiffe in die bei Süder-Köping anzulegenden Schiffsdocken eingehen können. An den östlichen Mündungen der Seen Wicken, Wettern, Bohren, Roxen und Aschlängen liegen, wegen der verschiedenen Wasserhöhen dieser Seen, noch fünf Schleusen mit horizontalem Boden. Neun und zwanzig Aquäducte führen die verschie-

Digitized by Google

denen Bäche und Leitgruben unter diesem Kanal durch, aus dem über 24 Ueberfälle das zur Schifffahrt überflüssige Wasser entlassen wird; 9 Bassins zur Aufnahme mehrerer Schiffe werden angebracht, und vier Schiffsdocken, jede Docke zur Aufnahme von 20 Schiffen, angelegt. Dann sind noch unweit der Kanalmündungen (in diesen Seen) fünf Häfen, deren massive Seedämme man auf Senkwerke construirt hat. Die Sohle dieser verschiedenen Kanäle hat eine Breite von 43 schwed. Fuß. Die Wassertiefe beträgt anfänglich 11 Fuß, indem der Kanal 1 Fuß tiefer ausgehoben ist, als die Sohle der Schleusen. Der Böschungswinkel von den Seitenwänden des Kanals ist zu 30° angenommen. Bereits im Jahre 1516 gab der in den schwedischen Annalen bekannte Bischof Brasch zu Linköping die erste Idee zur Anlage dieses Götha-Kanals, und er erhielt von den Ständen die Erlaubniß zur Ausführung, die er mit einem Graben am See Roxen, noch gegenwärtig Braschgraben genannt, begann. Aber die darauf erfolgte Reformation kostete dem Bischof seine Würde, und so unterblieb auch der Kanalbau. Indessen wurde dieser für Schweden sowohl in militairischer als commercieller Hinsicht wichtige Kanal unter Gustav I und seinen Nachfolgern mehrmals in Anregung gebracht, bis 1767 der verdienstvolle Oberdirector Thunberg die ersten wissenschaftlichen Entwürfe zu seiner Ausführung machte. Im Jahre 1792 erhielt der Obrist Rooh, auf Vorschlag der Stände, den Auftrag zur, Localuntersuchung und Thunberg machte nach dieser und den aufgenommenen Karten und Nivellements seine Vorschläge. — Unter der Regierung Christian VII wurde der Holsteinische Kanal, der die Ost- und Nordsee verbindet, in den Jahren 1777 bis 1785 ausgeführt. Dieses Werk verewigt nicht allein die Regierung des Königs und den Statthalter Landgrafen Karl zu Hessen, der den Vorsitz der Commission führte, sondern macht auch den Erbauern, Wegener und Peymann, die größte Ehre. Die genauere Be-

Digitized by Google

schreibung dieses merkwürdigen Kanals findet man in Woltmanns Beiträgen zur Baukunst schiffbarer Kanäle. —

Der Eriekanal, bis jetzt das berühmteste hydraulische Werk in den vereinigten Staaten von Nordamerika, welcher die westlichen Landseen mit dem Hudson und dem atlantischen Meere verbindet, ist 350 engl. Meilen lang. Diese große Wasserstraße ist in drei Abschnitte getheilt. Der westliche Abschnitt erstreckt sich vom Buffalo nach Montezuma am Flusse Seneca und ist 160 Meilen lang. Auf dieser ganzen Strecke senkt sich der Kanal gleichförmig vom Erie bis Montezuma um 194 Fuß, und ist mit mit 25 Schleusen versehen. Der mittlere Abschnitt ist 77 Meilen lang, hat 9 Schleusen, und erstreckt sich von Montezuma bis nach Rom, in welcher Richtung der Kanal regelmäßig um 49 Fuß sich erhöht. Der östliche Abschnitt erstreckt sich von Rom bis nach Albany und ist 113 Meilen lang. Auf dieser ganzen Strecke senkt sich der Kanal ebenfalls wieder regelmäßig um 419 Fuß und hat 46 Schleusen. Der ganze Betrag der Senkung und Erhöhung des Kanals beläuft sich daher auf 662 Fuß, und der Unterschied zwischen der Wasserhöhe des Erie und Hudson beträgt 564 Fuß. Der Kanal ist an der Oberfläche 40 Fuß, auf dem Grunde aber nur 28 Fuß breit, und hat dabei eine Tiefe von 4 Fuß; er wurde am 4ten Juli 1817 begonnen und am 4ten November 1825 eröffnet. Nach dem anfänglich gemachten Ueberschlage sollte derselbe 4,881,733 Dollars oder etwa 13,148 Dollars per Meile kosten. Bei Anlegung dieses Kanals waren nur wenige oder gar keine Schwierigkeiten zu überwinden, indem die Oertlichkeit solcher sehr günstig war; es bildet nämlich das aufgeschwemmte Land von Buffalo bis nach Albany eine ununterbrochene Fläche; dieser Kanal ist daher mehr seiner Länge als seiner Construction wegen merkwürdig.

Um die Communication zwischen zwei durch größere oder kleinere Flüsse getrennten Gebieten zu bewerkstelligen, sind Kunstbrücken, oder wenigstens etwas, was solche ersetzen könn-

Digitized by Google

te, in der früheſten Periode der Civiliſation erbauet worden. Die erſte Art, auf welche man über Flüſſe und Gräben gelangte, iſt wahrſcheinlich keine andere geweſen, als daß man Seile von zwei gegenüberſtehenden erhöhten Punkten über einen Fluß ſpannte, und mit Brettern belegte, um auf denſelben hinüber gehen zu können. Die älteſten hängenden Brücken, die wir kennen, ſind die chineſiſchen. Dieſe ruheten unmittelbar auf den Seilen oder auch auf den Ketten, welche zwiſchen den entgegengeſetzten Widerlagen ausgeſpannt waren. Eine Brücke dieſer Art über den Sampos in Hindoſtan, welche Major Rennel beſchreibt, iſt 600 Fuß lang. Auch ſind dieſe Brücken in einigen Ländern von Südamerika ſehr früh angewendet worden. Noch heute iſt es in den wilden Gegenden jenes Welttheils gebräuchlich, durch über Schluchten oder Flüſſe geſpannte Seile eine Art von Brücke zu bilden, welche der Reiſende, mit ſeiner Bagage in einem Korbe ſitzend, paſſirt, während ſein Reitthier durch eine Furt ſchwimmt. Als dieſe Hängebrücken die Aufmerkſamkeit gebildeter Völker auf ſich zogen, ſah man ſehr bald die Nachtheile, auf den Ketten ſelbſt zu gehen, ein, und man hing die Ketten an Thürmen auf beiden Ufern, die Brücke aber hing man an den Ketten in gerader horizontaler Linie auf. Die im Jahre 1741 errichtete Kettenbrücke zu Winch über den Fluß Tees, welcher die Grafſchaften Durham und York ſcheidet, wird für die erſte Brücke auf Ketten in England gehalten. Sie iſt beſchrieben im 3ten Bande von Hutchinſons Antiquities of Durham, Carlisle 1799. Dieſelbe iſt über einen beinahe 60 Fuß tiefen Abgrund von einem Felſen zum andern geſpannt, damit Reiſende und beſonders Bergleute über ſolche gehen können, und hat eine Länge von 70 Fuß, bei einer Breite von 2 Fuß; dabei iſt ſie mit einem Handgeländer an der Seite verſehen und mit Bohlen belegt. Der Verfaſſer des in Paris 1823 erſchienenen Werks, betitelt: Rapport à Mr. Becquey, Conseiller d'état, directeur général des ponts et chaussées et des mines, et Mé-

Digitized by Google

moires sur les ponts suspendus. Par Mr. Navier, Ingenieur, glaubt, daß die Art, die Brücken unterhalb der Ketten aufzuhängen, sie horizontal zu machen, und ihnen ihre natürliche Krümmung zu lassen, zuerst vom Herrn Finlay, einem Gutsbesitzer der vereinigten Staaten, vor 28 Jahren ausgeführt sey. — Ein gewisser Faustus Verentius beschreibt zwar schon im Jahre 1625 in einem lateinischen Werke zwei Arten von hängenden Brücken, die erste, wo die Passage unmittelbar über die Ketten hingeht, die zweite, wo der Fußboden mit verticalen Seilen daran aufgehängt ist; aber es ist wenigstens noch nicht ausgemittelt, ob damals seine Vorschläge irgendwo ausgeführt worden sind.

Im Jahre 1807 machte der französische Ingenieur Belu einen Entwurf zu einem hängenden Brückenbogen über den Rhein von 250 Meter (771 Fuß) weit, wobei die Ketten unter der Brücke angenommen waren; es blieb jedoch dies Project unausgeführt. — Erst seit ungefähr 10 Jahren hat die Anwendung des Grundsatzes der Aufhängung bei dem Bau der Brücken die englischen Ingenieurs beschäftigt. Die erste aufgehängte Brücke, die in England gebaut wurde und zur Ueberfahrt von Wagen bestimmt war, ist die vom Kapitän Brown erbauete Unions-Kettenbrücke über die Tweed bei Norhamford, ungefähr 5 Meilen von Berwick. Der kühne Bogen dieser Brücke hat eine Spannung von 381 Fuß bei einer Breite von 18 Fuß. Der Bau derselben wurde im August 1819 begonnen und war bereits im Juli 1820 vollendet. Navier sagt, daß der Boden dieser Brücke ein wenig unter der Ladung schwerer Lasten nachgebe, und daß die Elasticität des Eisens fühlbare Schwingungen veranlaße. Indeß zeigt die Erfahrung bei dieser Brücke, die sehr leicht construirt ist, daß die aufgehängten Brücken, trotz der Biegsamkeit der Ketten und des Bodens, hinreichend fest gemacht werden können, und daß das Uebersetzen darauf eben so sicher und bequem ist, wie auf andern Brücken. Die aufgehängten Brücken sind

Digitized by Google

nun nicht nur in England in großer Anzahl vorhanden, sondern sie werden dort bereits ein Gegenstand der Ausfuhr. Der Ingenieur Brünell, (ein geborner Franzose) hat zwei derselben erbauet, die nach der französischen Insel Bourbon gebracht werden sollen. Die eine besteht aus zwei halben Bogen, und die andere aus einem Bogen von 17 Meter (114 Fuß) Weite. Sie sollen zur Ueberfahrt von leichten Wagen dienen. Man hat bei beiden unten in umgekehrter Richtung Ketten angelegt, um den Boden durch ihren Zug von oben nach unten gegen die Winde zu schützen. — Im Jahre 1809 ist eine Kettenbrücke über den Fluß Merrimak im Staate Massachuset in Amerika erbauet, die aus einem Kettenbogen von 244 Fuß Spannung besteht. Die Brücke hängt zwischen zwei gemauerten Thürmen, die 37 Fuß hoch sind, auf denen ein hölzernes Gerüste von 35 Fuß Höhe stehet. Zwischen den gemauerten Widerlagen sind 10 Ketten gespannt, jede von 516 Fuß Länge, deren Enden auf beiden Ufern in tiefe Gruben gesenkt und dort mit großen Steinen bedecket und befestigt sind. Die Brücke hat zwei Fahrwege, wovon jeder 15 Fuß breit ist. Sie wird auf 20,000 Piaster (ohngefähr 30,000 Thaler) geschätzt, und sie ist auf eine Last von 500 Tonnen (10,000 Centner) berechnet.

Die erste in Großbritannien erbauete Drahtbrücke ist der im Jahre 1816 von dem Wollfabricanten, Richard Lees in Galashiel, über das Gala-Wasser auf dünnem Eisendrahte errichtete Steg, welcher 111 Fuß lang ist, und ungefähr 40 Pfund kostet. (S. Verh. des Vereins zur Bef. des Gewerbfleißes in Preußen, 1824.) — Eine kleine Brücke der Art bei Annonay im Departement Ardèche von 56 Fuß haben die Herren Seguin, Tuchfabricanten im Jahre 1822 errichtet*). Diese, als die erste in

*) Des ponts en fil de fer, par Seguin ainé d'Annonay. Paris 1824.

Digitized by Google

Frankreich erbauete Drahtbrücke, gab zu dem Bau einer ähnlichen zu Genf über zwei Stadtgräben, zwischen der Promenade St. Antoine und den Trancheen, in einer Ausdehnung von 252 Fuß Veranlassung. Eine Beschreibung derselben findet sich in der Schrift des Herrn Dufour: Description du pont suspendu en fil de fer à Génève. Die Drahtbrücke zu Kingsmeadows besteht aus einem 110 Fuß langen und 4 Fuß breitem Steg, der über die Tweed geht. Die Träger auf beiden Ufern des Flusses sind zwei hohle Cylinder von Gußeisen, welche bei einer Metallstärke von $\frac{3}{4}$ Zoll 8 Zoll Durchmesser haben und 9 Fuß hoch sind; sie stehen 4 Fuß weit von einander entfernt, und in einen jeden ist eine Stange von geschlagenem Eisen eingelassen, an welcher die Hängedrahte, deren Durchmesser etwa $\frac{3}{10}$ Zoll beträgt, vermittelst Schraubenbolzen befestigt sind. Die dicken hohlen Röhren ruhen auf einem Rost von Grundpfählen; sie bilden gewissermaßen die Pfeiler der Eingangsthüre zu dem Stege, und behaupten sich gegen den Zug desselben durch schräge Arme von $\frac{3}{4}$ Zoll Durchmesser, die durch Schraubenbolzen befestigt sind. Der für die Fußgänger bestimmte Weg wird durch Rahmen von geschlagenem Eisen getragen, auf welchen leichte, 6 Zoll breite und 1$\frac{1}{4}$ Zoll dicke Tannenbretter mit Schraubenbolzen befestigt sind. Aufwärts stehende Eisenstäbe, die oben eine hölzerne Barriere haben, bilden die Brustwehr; 42 Schraubenbolzen, deren jeder 1 Zoll Durchmesser hat, halten durch ihr Anziehen das ganze System so vortrefflich zusammen, und geben ihm eine solche Festigkeit, daß man beim Rütteln der Brücke keine Lockerheit der einzelnen Theile, vielmehr nur die genaueste Verbindung des Einzelnen mit dem Ganzen wahrnimmt.

In Deutschland findet man eine Ketten- jedoch keine Hängebrücke bei Weilburg im Nassauischen. Sie ist im Jahre 1785 über die Lahn geschlagen; ihre Länge beträgt 185 Fuß. Außerdem finden sich noch einige solche Brücken in fürstlichen Parks, z. B. zu Wörlitz bei Dessau. Der Bau

Digitized by Google

einer von Bandhauer entworfenen Hängebrücke über die Saale bei Männichen Nienburg im Anhalt-Köthenschen wurde im Jahre 1824 angefangen. Sie wird 270 Fuß lang und 26 Fuß breit werden. Mitten in der Brücke wird ein Durchgang für Schiffe angebracht; wodurch die Anwendung dieser Brücke auf schiffbaren Flüssen sehr erleichtert werden wird *). — Im Jahre 1824 ist in der Provinz Mähren über einen Arm des Marchflusses eine Kettenbrücke durch den Ingenieur Schnirch zur Benutzung, für Fußgänger und Fuhrwerk erbauet worden. Die Brücke ist 90 Fuß im Lichten lang, 14 Fuß breit, und hängt 10 Fuß über dem niedrigsten, 2 Fuß über dem höchsten Wasserstande unter einem Aufhängewinkel von 22 Graden an 8 Ketten, wovon 4 Stück auf jeder Seite zwei zu zwei vergliedert sind. Das Gewicht der Ketten beträgt 48 niederöstreichische Centner, das der Tragstangen 5, der beiden Schienen 12, zusammen 65 Centner. Die Brücke hat mit Einschluß ihres eigenen Eisengewichtes im Ganzen ein Tragvermögen von 1203 Centnern, und kann demnach die schwersten Lastwagen ohne die mindeste Gefahr tragen. Die Fahrbahn ist von Holz; zur Sicherheit der Fußgänger ist ein 3 Fuß hohes geflochtenes Drahtgeländer angebracht.

---

*) Diese Brücke wurde schon, spätern Nachrichten zufolge, in der letzten Hälfte des Jahres 1825 zur Passage eröffnet und mit dem schwersten Fuhrwerke befahren. Allein als die Bürgerschaft der Landesherrschaft ihren Dank für die der Stadt durch diese Hängebrücke erwachsenen Vortheile am 6ten December auf der Brücke feierlich bezeugte, senkte sich die Hälfte der Brücke mit den darauf befindlichen Menschen plötzlich in die Saale und schwamm fort. Die Ursache dieses unglücklichen Ereignisses soll von einem am Tage vorher durch die Klappe der Brücke gesegelten Saalkahn herrühren, welcher mit stehenden Masten angefahren kam, das Springen einiger Kettenglieder verursacht, und dadurch die Tragbarkeit der Brücke vermindert hatte. Nach andern und wie es scheint sehr gegründeten Nachrichten ist die Brücke fehlerhaft construirt worden, und vermöge ihrer Construction nicht im Stande gewesen, eine solche Last zu tragen.

Digitized by Google

Ueber den Bau der Hängebrücken aus Eisendraht nach Stevenson, Seguin, Dufour, Navier u. a. m. ist eine Schrift von C. F. W. Berg, Leipzig 1824 erschienen. Dr. C. F. W. Dietlein hat uns einen Auszug aus Naviers Abhandlung über die Hängebrücken, Berlin 1825 mitgetheilt. Auch findet man die Hängebrücken beschrieben im Edinburg Philosophical Journal No. X, XI und XXI. 1824. Ferner in den Annales de l'industrie nationale etc.; im Bulletin des sciences, publié sous la direction de M. le Baron de Ferussac zu Paris; im Bulletin des sciences, par la société philomatique de Paris. Livraison de Mai 1823. —

Es scheint, daß die an Eisendraht aufgehängten Brükken vor den Ketten den Vorzug erhalten dürften; denn

1) die Wohlfeilheit spricht sich offenbar zu Gunsten der Bündel von Eisendraht in Vergleichung mit dem Stangeneisen, das die Gelenke der Kette bildet, aus.
2) Die Handhabung mit den Bündeln von Eisendraht geht weit einfacher und schneller vor sich.
3) In der vergleichungsweisen Zähigkeit desselben Metalls, geschmiedet oder zu Drahten gezogen, findet eine so bedeutende Verschiedenheit statt, daß man daraus zu Gunsten des letztern folgern muß. — Nach Versuchen, die Dufour in Genf mit Eisendraht angestellt hat, tragen die Dräthte von 1 bis zu 4 oder 5 Millimeter (¼ bis 2 oder 2¼ Linien) Dicke, deren man sich am häufigsten bedient, wenigstens nach dem Quadratschnitte eines Millimeters (¼ Linie) 60 Kilogramme (120 Pfund); dahingegen nach den zahlreichen Versuchen, welche seit Muschenbroeck bis jetzt über die Kraft des geschmiedeten Eisens angestellt wurden, tragen eiserne Stangen, welche nicht mehr als 6 Millimeter (¼ Zoll) im Gevierte halten, nur 40 bis 45 Kilogramme (90 Pfund); bei dickern darf man nur auf 25 bis 40 Kilogramme (50 — 60 Pfund) rechnen. — Aus diesem erhellet der unermeßliche Vortheil bei der Anwendung des Eisendrahtes in Vergleichung mit dem Stab-

Digitized by Google

eisen. Der erstere ist von vorzüglicherer Beschaffenheit zu erhalten und besitzt eine doppelte Stärke. Navier giebt den Brücken aus eisernen Ketten den Vorzug, nicht nur vor gezimmerten, sondern auch vor Brücken mit gewölbten, steinernen oder Gußeisen-Bogen, weil sie weniger kosten und dabei leichter sind.

Wenn es die Aufgabe ist, eine Communication über einen Fluß anzulegen, so muß bei Lösung derselben darauf Rücksicht genommen werden, alle überflüssigen Kosten zu vermeiden, mithin so wenig als möglich Material anzuwenden. Nicht unwahrscheinlich dürften daher binnen kurzem die hängenden Brücken den Gebrauch der steinernen und hölzernen entbehrlich machen.

Die Unvollkommenheiten der hängenden Brücken in den frühesten Zeiten, und die Unbekanntschaft mit denen von Eisendraht und Ketten gaben dazu Veranlassung, daß die ältesten Völker daran dachten, wie und auf welche Art sie sowohl für den friedlichen Verkehr die Communication zwischen volkreichen Städten befördern, als auch für den Krieg große Kriegshaufen schnell und in Massen über einen Fluß setzen könnten. Da nun in sehr frühen Zeiten die Kunst erfunden war, auf kleinen Fahrzeugen zu schiffen, so mußte der Gedanke entstehen, entweder eine Reihe derselben quer über einen Fluß zu legen, sie zu verankern, eine hölzerne Bahn auf ihnen zu befestigen, und so den Fluß mit Menschen und Vieh zu passiren, oder solches auf Fahrzeugen (Prahmen oder Fähren) die durch Ruder bewegt werden, zu bewerkstelligen. Da aber diese letzte Ueberfahrt nicht nur sehr langsam von Statten geht, sondern auch zu derselben mehrere Mannschaft erforderlich ist, so spannte man ein starkes Seil an zwei an den Ufern errichteten Säulen, hängte eine metallene Rolle an dasselbe, befestigte diese mit einem zweiten Seile an die Fähre, und stellte das Steuerruder schief gegen den Strom. Wenn nun die Fähre vom Ufer abgestoßen wird, so wird das Wasser auf die Ruderfläche stoßen, und die Fähre stromabwärts drücken; weil sie

Digitized by Google

aber dahin nicht ausweichen kann, so wird sie längs dem Taue quer über den Fluß sich bewegen, und es bedarf nur eines Mannes der das Steuer führt. — An der Drau in Slavonien und an der Muhr in Steiermark und Kroatien findet man ähnliche fliegende Brücken, welche gute Dienste leisten, unter deren Seilen die Schiffe und Flöße ungehindert passiren.

In Leupolds Schauplatz der Brücken und des Brückenbaues, Leipzig 1774, sind die Drehbrücken, wo die ganze oder ein Theil der Brücke herumgedreht werden kann, die fliegenden Brücken und Schiffbrücken beschrieben. Ueber schwimmende Brücken, welche entweder durch Anker oder an den Ufern befestigt werden, giebt Barth in seinen ökonomischen Handgriffen Belehrung.

Da aber die Ueberfahrt in Prahmen oder Fähren nicht zur Winterszeit, wenn die Flüsse zufrieren, geschehen konnte, und die Schiffbrücken, außerdem daß sie für jedes einzelne Fahrzeug geöffnet und geschlossen werden müssen, auch im Winter, wenn der Eisgang eintritt, nicht länger gebraucht, sondern in einen Hafen geführt werden müssen, wodurch die Communication aufhört, so waren andere Arten von Brücken erforderlich, über welche die Passage zu allen Zeiten ungestört vor sich gehen konnte.

Die Geschichte erzählt, daß schon in den ältesten Zeiten große Steinmassen als Pfeiler in das Wasser gelegt und darauf platte oft ungeheure Steine wagerecht übergelegt wurden. Die von der Königin Semiramis zu Babylon gebauete Brücke soll auf diese Art, wie einige Schriftsteller melden, construirt gewesen seyn. Auch von cylindrisch ausgehauenen Decken findet man Spuren, den Gewölbebau aber haben die Griechen wahrscheinlich erst seit Perikles, der im Jahre 325 nach Erbauung der Stadt Rom starb, gekannt. Einige Schriftsteller glauben, daß die römischen unterirdischen Kloake, von welchen die erste von Tarquinius Priscus, der im Jahre 177 nach der Erbauung der Stadt Rom starb, erbauet ist, ursprünglich gewölbt gewesen sind.

Digitized by Google

Demnach hätten die Römer den Gewölbebau früher gekannt, als die Griechen. Es scheint aber unwahrscheinlich, wie auch Röder in seiner Brückenbaukunst (4ter Abschnitt 1ster Th. S. 317) sagt, daß die Römer zu einer Zeit, wo das untere Italien durch Pelasger und Griechen colonisirt war, den Gewölbebau gekannt haben. Vielleicht ist die von M. Agrippa, als er das Amt eines Aedils im Jahre 727 nach Erbauung der Stadt Rom verwaltete, bewirkte Erneuerung und Ausbesserung der Kloake die Epoche der eigentlichen Erbauung dieser Gewölbe, und wahrscheinlich ist es, daß diese Wasserleitungen früher nur mit platten Steinen belegt gewesen sind.

Die Geschichte erwähnt mehrerer von den Persern erbauten Brücken, ohne uns etwas Näheres darüber zu berichten. Die Reisebeschreiber erwähnen zweier neuperssischer Brücken, nämlich der Brücke Babaruk zu Ispahan, welche nach Schramm 2265 Fuß lang, 161 Fuß breit seyn, und aus 29 Bogen von 51 Fuß 6 Zoll Spannweite bestehen soll, demnächst der Brücke von Aliwerdy-Chan, von den nämlichen Dimensionen und derselben Bauart. Die Brücke von Fo-cheu in China wird als ungeheuer groß beschrieben; sie soll aus 100 Bogen, jeden von 124 Fuß Spannweite und eben so breiten, 62 Fuß hohen Pfeilern, bestehen. Die Brücke von Loyang zu Fokien über einen Meeresarm wird zu 300 Bogen, jeder von 77 Fuß 7 Zoll Spannweite angegeben. Die Pfeiler sollen 15 Fuß 5 Zoll dick, 71 Fuß hoch und von einem zum andern mit Steinplatten überlegt seyn.

Die unter Sylla, 100 Jahre vor Christo erbauete Ponte molle hat zwar gothische Bogen es sollen jedoch solche nach einigen Schriftstellern vom Papst Nicolaus V aufgestellt seyn.

Die älteste von Rom's Brücken ist die Brücke Sublicius, welche 130 Jahre nach Erbauung der Stadt von Ancus Marcius, um den Berg Janiculus mit der Stadt zu verbinden, errichtet wurde. Diese Pfahlbrücke wurde nach dem Berichte des Dio Cassius von dem hohen Strome weggerissen, und von Antonin dem Frommen 141 nach Christi

Digitized by Google

Geburt, wurde eine steinerne Brücke an diese Stelle gebaut; sie ist aber wiederum eingestürzt, und nicht wieder aufgebauet worden.

Die noch bestehende Brücke Fabricius (jetzt ponte di quattro capi)*) ist im Jahre 692 der Stadt Rom von dem damaligen Vorsteher des Brückenbaues, Fabricius, erbauet. Sie besteht aus zwei Halbkreisbogen, jeder von 80 Fuß 7 Zoll Spannweite, der Mittelpfeiler ist 31 Zoll dick, und hat eine 20 Fuß weite Oeffnung, um das hohe Wasser mit abzuführen. In den Widerlagen befinden sich zwei solcher Durchlässe, jeder von 13 Fuß, zu eben dem Zwecke, ihre Breite ist 23 Fuß. Vierzig Jahre nach ihrer Erbauung, unter der Regierung des Augusts, wurden die Fundamente der Pfeiler schadhaft, und mußten mit einem steinernen Vorbau gesichert werden. Papst Innocenz XI ließ sie 1680 ausbessern und mit einer Brüstung versehen. Piranesi hat im IVten Bande seiner römischen Alterthümer, eine Zeichnung von ihr gegeben.

Die Brücke des Cestius Gallus (jetzt ponte ferrato), welche unter den Kaisern Valentinian, Valens und Gratian von Cestius Gallus erbauet seyn soll, hat Röder in seiner praktischen Darstellung der Brückenbaukunst (1ster Th. IVter Abschn. Cap. 1. S. 320) beschrieben und seine Beschreibung durch eine Zeichnung erläutert.

Durch die Verlegung des Sitzes der Kaiser von Rom nach Byzanz oder Constantinopel, von Constantin dem Großen, wurde die Ausbildung der Kunst in Rom gemindert. Sie zog sich hernach, hauptsächlich bei dem Einfalle barbarischer Völker, ganz aus Italien hinweg, und wurde im Morgenlande cultivirt. Auf solche Art wurde die Baukunst unter den Byzantinern eingeführt, und ging von hier, als in Italien die Ruhe wieder hergestellt war, dahin zurück. Dies geschah vorzüglich zu der Zeit, als Theodorich, der Gothe, in Italien die Herrschaft erlangte und das gothische Reich stiftete. Dieser ließ aus Liebe zur Kunst nicht nur

*) S. Horat. Serm. L. 2. Sat. 3.

Digitized by Google

verfallene Bauwerke in Rom herstellen, sondern gründete auch neue. Lange Zeit hindurch war hier nichts für die Kunst geschehen, daher man auch diesen Zeitpunkt, wo mit der Herrschaft der Römer der Brückenbau einstweilen aufhörte, als den Schluß der ersten Periode desselben ansehen kann, und höchstwahrscheinlich sind alle während derselben erbauete Brücken Halbkreisgewölbe gewesen.

Während der Herrschaft der Gothen wurden einige rühmliche Werke ausgeführt, deren Bogen nach der von ihnen benannten Form (der gothischen und zwar der altgothischen, zum Unterschiede der spätern des Mittelalters, der deutschen, die man die neugothische nannte) erbauet sind. So wurde die Brücke von Martorell in Catalonien, deren größter Bogen 70 Fuß Spannweite und 47 Fuß Höhe hat, von ihnen oder von den Arabern errichtet, ob sie gleich dem Hannibal zugeschrieben wird. — Die bedeckte Brücke von Pavia, welche freilich nicht von den Gothen, sondern von Galeazzo Visconti, Herzog von Mailand, und zwar aus Ziegelsteinen aufgeführt ist, verdient hier erwähnt zu werden. Sie hat 68 Fuß Spannweite an jedem Bogen und die 15 Fuß 5 Zoll dicken Pfeiler sind von weißem Marmor. Röder hat in seiner Brückenbaukunde eine Zeichnung von derselben mitgetheilt.

Erst im zwölften Jahrhundert, als der Handel wieder aufzuleben anfing, wurde auch der Brückenbau mit Sorgfalt berücksichtigt. In jenen trüben Zeiten durfte man die Erbauung von Brücken und Straßen selten vom Staate oder von den Herrschern erwarten; Werke dieser Art verdanken ihre Errichtung meist einzelnen Communen oder reichen Privatpersonen. Das Bedürfniß bedeutender Brücken bildete religiöse Gesellschaften, die man Brückenbrüder nannte, und die Herbergen bei den Ueberfahrten über die Flüsse anlegten, auch das Geleit der Reisenden gegen Entrichtung einer Gebühr übernahmen, endlich Beiträge zu solchen Unternehmungen durch Almosen zusammen brachten. Auf solche Art wurden die sehr langen Brücken, St. Esprit zu Avig-

non und la Guillotière zu Lyon über die Rhone aufgeführt. Ja sogar Frauen vereinigten sich zu diesem Zwecke, und sie haben auf ihre Kosten bei dem Flecken Vieille Brioude über den Allier eine Brücke aufführen lassen, die durch sehr große Schwibbogen ausgezeichnet ist.

Diese dritte Periode des Brückenbaues dauerte vom 11ten bis Ende des 16ten Jahrhunderts. Während der Zeit sind nachstehende Werke, als die vorzüglichsten, aufgeführt worden:

1)	die Regensburger Brücke,	erbaut im Jahre	1135,	ist 965 Fuß lang
2)	= alte Londonbrücke,	=	1176	= — =
3)	= Dresdner Brücke,	=	1179	= 1405 =
4)	= Avignon Brücke,	=	1187	war 2804 =
5)	= la Guillotière zu Lyon	=	1285	= 1816 =
6)	= St. Esprit über die Rhone	=	1285	ist 2612 =
7)	= Brücke von Ceret	=	1336	= =
8)	= = Vieille Brioude	=	1454	= =
9)	= Dreifaltigkeitsbrücke zu Florenz,	=	1251	= =
10)	= Prager Brücke,	=	1358	= 1656 =
11)	= Fleischbrücke zu Nürnberg,	=	1599	= =
12)	= Rialto zu Venedig,	=	1578	= =

Während dieser Periode wurden die Brücken durchgängig, auf einem zuweilen nicht sehr tiefen Steinwurf erbauet; denn Pfahl- und Schwellrosten scheint man damals nicht gekannt zu haben. Die Pfeiler wurden sehr dick gemacht, und man ließ die Bogen bis in die Fundamente hinabgehen. In den Pfeilern brachte man Brückenaugen an, und gab den Brücken nur eine sehr geringe Breite, oft nur 12 nie mehr als 18 bis 20 Fuß. Es wurden häufig Thürme auf den Brücken errichtet, um diese sperren und vertheidigen zu können, indem vor der Erfindung des Pulvers eine Brücke als ein sehr haltbarer Posten betrachtet wurde. Selten haben diese Brücken Flügelmauern, größtentheils

Digitized by Google

vertreten einige Stücke Mauer, ausspringend gegründet, ihre Stelle.

Der deutschen Bauart giebt der Spitzbogen, der zu dem, in dem Mittelalter vorherrschenden Bestreben, die Gebäude hoch aufzuführen, paßt und solches unterstützt, den eigenen Charakter. Vorzüglich wurde er seiner Vorzüge wegen vor dem halbkreisrunden Bogen gewählt, da er eines geringern Widerstandes bedarf, als dieser Bogen und weniger Druck auf die Widerlagen verursacht, weshalb den Mauern eine nur mäßige Stärke gegeben werden und das Ganze bei der größten Festigkeit ein leichtes und kühnes Ansehn erhalten konnte, was der romantische Geist des Zeitalters verlangte. Obschon hierbei die deutschen Künstler sich als tüchtige Mathematiker zeigten, so waren ihre rein geometrischen Elemente doch nur aus den Gesetzen der Natur entlehnt, der Grund aller Bildung, wornach sie das Ganze, so wie die einzelnen Theile gestalteten. Hierin liegt der Ursprung der im Mittelalter ausgebildeten deutschen Baukunst, welche durch den Charakter des Zeitalters, den alles durchdringenden romantischen Geist, motivirt wurde. — Die unmäßigen Bogen des Mittelalters gaben dazu Veranlassung, daß man in Städten, wo diese Bogen nicht anzubringen waren, indem sie leicht die Häuser in der Umgebung überragt haben würden, sich mit hölzernen Brücken begnügte. So hatte Paris nur hölzerne Brücken bis zum Jahre 1412, in welchem Jahre man die erste steinerne Brücke: Notre Dame daselbst bauete. Ohngefähr 60 Jahre nachher wurde der Pont-neuf und noch andere erbauet. Die Brücke von Toulouse 1543, die Tuillerien-Brücke zu Paris 1625 und die von Chatellerault 1609 gebauet, haben schon Korbbogen. Im siebenzehnten Jahrhundert bauete man auch die Brücken St. Michel, Hôtel Dieu, Pont du Change, Marie und Tournelle; aber von 1680 — 1720 ist weder in Frankreich noch in Deutschland ein bedeutendes Werk der Art ausgeführt worden.

In dieser vierten Periode war man noch nicht be-

kannt mit der Fundirung, daher wurde der Frater Romano, als der erste damalige Brückenbaumeister von Mastricht nach Paris berufen, um die Fundirung der Tuillerien-Brücke (Pont Royal) zu übernehmen. Romano ließ den Grund mit einer den Niederländern schon lange bekannten Baggermaschine ausräumen, und ein großes Marineschiff mit Materialien an dieser Stelle versenken. Es wurde mit eingerammten Langpfählen und einem Steinwurf umgeben, den man mit Puzzolanmörtel, der früher in Frankreich nicht bekannt war, befestigte. Auf diesem Fundamente wurden die Pfeiler mit verklammerten Steinschichten gemauert, welche noch bis auf den heutigen Tag, ohne zu sinken, sich erhalten haben. Die Tuillerien-Brücke besteht aus fünf gedrückten Bogen von 67 bis 74 Fuß 8 Zoll Spannweite, deren Höhe 54 Fuß beträgt.

Im Jahre 1720, als das Corps der Ingenieurs für den Straßen- und Brückenbau in Frankreich errichtet wurde, trat eine wichtige Epoche für die Geschichte des Brükkenbaues ein, und es beginnt eine neue Periode. Während dieser Periode machte die Brückenbaukunst besonders hinsichtlich der Gründungsarten bedeutende Fortschritte, und es sind Werke angelegt worden, welche die Bewunderung, den Unterricht und den Nacheifer der Mit- und Nachwelt erweckten. Wenn man auch schon im Mittelalter Brücken mit Bogen aufgeführt hat, so gehört doch die Anwendung der mathematischen Theorie auf den Brückenbau ganz der neuern Zeit an. — Die Brücke von Blois, als die erste, bei welcher man hängende Lehrgerüste gebrauchte, wurde mit Korbbogen im Jahre 1720 von Pitrou vollendet. De la Belie wendete die früher bekannte, und beim Hafenbau von Toulon gebrauchte Gründung durch Senkkästen zuerst auf den Brückenbau an, und zwar bei dem im Jahre 1738—1750 ausgeführten Bau der Westminster-Brücke in London. Solche steht noch jetzt vollkommen erhalten, als ein schönes Denkmal kühner Unternehmungen. Eine Geschichte des Baues dieser Brücke hat de la Belie in engli-

Digitized by Google

scher-Sprache geliefert, und es ist solche von Montigny ins Französische übersetzt worden. Belidor beschreibt gleichfalls diesen Bau Band 4. Buch 3. Kapitel 11. und Wiebeking handelt davon und von der Saumur-Brücke im 3ten Bande seiner Straßenbaukunst, S. 566. Ueber die letzterwähnte von Cessart mittelst Senkkästen auf einem Pfahlroste gegründete Brücke, findet man eine ausführliche Nachricht in dem Recueil de divers Mémoires publiés par Lessage.

Vom Jahre 1756 — 1764 wurde eine neue steinerne Brücke zu Moulins von dem Ingenieur Régèmortes auf derselben Stelle aufgeführt, auf welcher die Brücke wegen des sandigen Grundes in 35 Jahren dreimal eingestürzt war. Der Baumeister gründete durch die Anlage eines durchlaufenden Fluthbettes, mit Bohlen gedeckt, und durch die Erweiterung der ganzen Spannweite, ohne Grundpfähle eine vollkommen feste Brücke, welche bis jetzt allen Angriffen des Bergstroms widerstanden hat. Sein Verfahren hat er in einem eigenen Werke: Description du nouveau pont de pierre, construit sur la rivière d'Allier à Moulins par Régèmortes, 1771, umständlich beschrieben. —

In der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts brachten die Franzosen Gewölbe in Aufnahme, welche ungeachtet ihrer ansehnlichen Weite nach äußerst flachen Bogen gespannt wurden, so daß der Anfang der Kreisstücke beinahe so hoch, als der höchste Wasserspiegel zu liegen kam. Auch wurden die Pfeiler und Gewölbdecke so sehr vermindert, als noch nie geschehen war.

Perronet, der Director des Brücken- und Straßen-Ingenieurcorps zu Paris, gab dazu die erste Idee. Er entwarf und führte mehrere derselben aus, welche durch ihre zierlich gesprengten Bogen allgemeines Erstaunen erregten, und Veranlassung zu andern kühnen Werken wurden. Die von Perronet bei Neuilly über die Seine aufgeführte Brücke hat 5 Bogen von 120 Fuß im Lichten, an der inwendigen Breite eine Höhe von 30 Schuhen, an den bei-

Digitized by Google

den auswendigen Seiten hingegen nur 16 Schuh von den Anfängern bis zu dem Schlußsteine, so wie der Pfeiler sich zur Sehne beim ersten, wie 1 : 4, beim letzten wie beinahe 1 : 7½ verhält, deren Mittelpfeiler nur 13 Schuh dick und viel zu schwach sind, um ohne den Gegendruck eines entgegen wirkenden Bogens den Seitendruck eines so weiten und flachen Gewölbes zu ertragen. Die beiden Widerlagen, welche 30 Schuh dick sind, müssen eigentlich die ganze Brücke im aufrechten Zustande erhalten.

Die von Perronet erbauete Brücke von St. Mairent über die Oise, deren Pfeiler sogar als Säulen durchbrochen sind, hat 39 Schuh weite Oeffnungen, 9 Schuh dicke Pfeiler und 12 Schuh starke Widerlagen. Der Pfeil des Bogens beträgt nur den zwölften Theil seiner Sehne.

Der kühnste Bogen hingegen, den dieser Ingenieur entwarf, ist der bei Melun, der 150 Schuh weit, nur 13 Schuhe zur Höhe von seinen Anfängern bis zum Schlußsteine haben sollte. —

Perronet hat seine Ideen sowohl als die wirklich und glücklich von ihm ausgeführten Brückengebäude in seinem auf königliche Kosten unter dem Titel: Description des projets et de la construction des ponts de Neuilly, de Nantes, d'Orleans et d'autres, du projet du Canal de Bourgogne pour la Communication des deux mers par Lijon etc., par M. Perronet à Paris à l'imprimerie royale 1782 in Paris herausgekommenen Prachtwerke ausführlich und lehrreich beschrieben.

Die Kühnheit dieser Entwürfe von Perronet und den Scharfsinn des Unternehmens muß man mehr bewundern, als nachahmen. Bei Anlagen dieser Art muß die allzugroße Kühnheit der Solidität untergeordnet werden. Die beiden Perronetschen Brücken, namentlich die Brücke von Rosoy über den Yeres auf der Straße von Paris nach Sezanne in Champagne, und die Brücke von Brunoy über das nämliche Flüßchen, welche Röder in seiner Brük-

Digitized by Google

kenbaukunde beschrieben und abgebildet hat, können dem angehenden Ingenieur als Muster zu Chausseebrücken dienen.

Für den Brückenbau in Frankreich ist sowohl vor als seit dem Ausbruch der Revolution, und vorzüglich unter Napoleons Regierung, sehr Bedeutendes geleistet worden. Man hat aber hierüber keine speciellern Nachrichten, als: Curtius Arbeiten des Brücken- und Wegebau-Ingenieurs seit 1800. (Aus dem Französischen übersetzt, Gotha 1813.)

In England hat man seit mehreren Jahren eiserne Brücken zu erbauen begonnen. In einem Lande, das Ueberfluß an Eisen hat, in welchem aber Stein und Holz selten und theuer sind, welches Eisengußwerke, die durch die vorzüglichsten Steinkohlen unterstützt werden, in der größten Vollkommenheit besitzt, mußte man natürlich auf die Idee fallen, das Eisen zum Brückenbau anzuwenden, da dasselbe sich durch seine Dauer so vorzüglich empfiehlt. Gegossene Eisenklötze vertreten die Stelle der Gewölbsteine und so werden mit solchen Klötzen Bogen aufgeführt. Ueber die Construction dieser Brücken giebt die in dem Monthly Magazine September 1796 pag. 552 enthaltene Nachricht, eine nähere Aufklärung, welche auch in der Sammlung nützlicher Aufsätze und Nachrichten über die Baukunst im Jahrgang 1798 aufgenommen worden ist.

Nach Ganthey, Th. 11. S. 113 findet man schon in italienischen Schriften aus dem 16ten Jahrhundert Ideen von eisernen Brücken, und Deaiguiliers erneuerte diesen Gedanken 1719, und 1755 fing Garrin zu Lyon schon den Bau einer eisernen Brücke von drei Bogen an, deren jeder 79, 65′ Oeffnung hatte; sie war schon auf dem Werkplatz aufgeschlagen, aber aus Geldmangel beendigte man sie nicht, sondern stellte an ihre Stelle eine hölzerne Brücke auf.

In England erbaueten John Wilkison und Abraham Darley, zwei geschickte Hüttenmeister, in den Jahren 1773 — 1779 die erste eiserne Brücke bei den Schmelzhütten zu Coalbrookdale in Shropshire über die Severne, nach ih-

Digitized by Google

ren eigenen Entwürfen. Sie bestehet aus einer dreifachen Reihe hinter einander gestellter großer eiserner Rippen, welche durch gegossene viereckige Säulen, welche in einer auf den aus Werkstücken erbauten Grundpfeilern, aufgelegten eisernen Grundplatte stehen, und durch andere Seiten- und Querverbindungen im festen und unbeweglichen Zustand erhalten werden, verbunden sind. Auf diese Rippen und Säulen sind mittelst ganz einfacher Vorrichtungen große gegossene eiserne Platten befestigt, auf welchen ein aus zähen Ringel und Eisenschlacken geschlagenes Esterich angelegt ist, über welches die Passage über die Brücke vor sich gehet. An den Vorsprüngen dieser Platten ist das gegossene Brückengeländer angeschraubt. Bald nach diesem kühnen Unternehmen kam eine Menge anderer eiserner Brücken in verschiedenen Theilen der vereinigten Königreiche zum Vorschein, von welchen die im Jahre 1796 über den Wearfluß, bei Wearmouth, nahe bei Sunderland in der Grafschaft Northumberland, unter der Direction des Rowland Burdon erbaute Brücke die bedeutendste war. Sie besteht aus einem einzigen Bogen, dessen Sehne 236 Fuß beträgt. Die Höhe hält bei 100 Fuß, die Breite 32 Fuß, der Pfeil des Bogens ist nur 33 Fuß, und bildet ein sehr kleines Cirkelsegment. Sie enthält bei 250 Tonnen Eisen, und zwar 210 von gegossenem und 40 von geschmiedetem. Die beiden Pfeiler, welche diesem eisernen Werke zu Widerlagen dienen, sind so hoch, daß Schiffe, ohne ihre Masten abzunehmen, darunter wegsegeln können. Der Grund zu dieser Brücke wurde am 24sten Sept. 1793 gelegt. Die förmliche Eröffnung geschah den 9. August 1796.

Anfangs wollten die dortigen Einwohner diese Brücke nicht mit schweren Wagen passiren, weil sie in ihre Haltbarkeit Mißtrauen setzten. Um dies Mißtrauen zu verscheuchen, ließ der Baumeister bei eintretender Fluth ein Fahrzeug unter die Brücke fahren und daran befestigen. Als die Ebbe eintrat, blieb es frei an der Brücke hängen. Auf diese Weise benahm er auch den Furchtsamsten jedes Miß-

Digitized by Google

trauen gegen die Haltbarkeit eines aus einem einzigen Bogen bestehenden Gewölbes, welches eine so außerordentliche Last zu tragen fähig war. —

Nächst dieser Brücke ist jene von Telford im Jahre 1796 über die Severne zu Builtwas ohnweit Coalbrookdale erbaute Brücke die ansehnlichste. Sie hat 125, 4′ Oeffnung und 26, 2′ Bogenhöhe. Sie ist in einem Heft von 4 Folioblättern, welche die Prospecte der Brücke zu Coalbrookdale von vier verschiedenen Seiten vorstellen, abgebildet; doch sind diese Zeichnungen mehr malerisch, als für den Baumeister belehrend. J. Record hat zwei andere, bereits sehr selten gewordene Blätter in Groß-Folio gestochen, welche im Jahre 1782 herausgekommen sind: das erste enthält den Prospect, das zweite den Grund- und Standriß, nebst dem Querschnitt dieser Brücke.

In England sind nach dem Muster der Brücke von Coalbrookdale seit der Zeit viele Brücken gegossen, und mehrere selbst nach Amerika verschifft worden. In den neuern Zeiten wurde die Southwark-Brücke über die Themse aufgeführt, deren mittlerer Bogen nicht weniger als 240 Fuß Weite hat. Im Jahre 1806 wurde die 1800 angefangene eiserne Brücke über die Seine ohnfern dem Jardin des plantes von Lamandé vollendet, und erhielt den Namen Pont d'Austerlitz. Die Baukosten dieser Brücke sollen an zwei Millionen Franken betragen haben. Die Bauart derselben kann als ein Muster der Zweckmäßigkeit und Zierlichkeit angesehen werden, so wie sie zugleich eins der schönsten Monumente Frankreichs ist. Der kurz nach dieser gebaute Pont de Jena hat an drei Millionen Franken gekostet.

Die erste eiserne Brücke in Deutschland ließ Graf Burghaus zu Laasen, im Fürstenthum Schweidnitz in Schlesien, über das Strigauer Wasser 1794 erbauen. Das Eisen wurde auf den Eisenhütten zu Malapane gegossen. Sie ist 40 Schuhe weit, und nähert sich einigermaßen in der Construktionsart jener von Coalbrookdale. Die Nachricht von

Digitized by Google

dieſer Brücke findet ſich in der: Beſchreibung der eiſernen Brücke zu Laaſen u. ſ. w. Leipzig, 1797. Der Koſtenbetrag dieſer eiſernen Brücke iſt in der Sammlung nützlicher Aufſätze und Nachrichten, im erſten Bande des Jahrgangs 1798 S. 168 aufgeführt und ſolcher wird zu 7694 Rthlr. 14 Ggr. 8 Pf. berechnet.

Späterhin ſind mehrere eiſerne Brücken, jedoch von kleineren Oeffnungen, hier und da in Deutſchland errichtet worden *).

In den Beiträgen zur Brückenbaukunde insbeſondere: kritiſcher Commentar zur Theorie der Brückenbogen und Vorſchläge zu eiſernen Brücken in jeder beliebigen Größe, von G. Reichenbach, München, 1811, wird von der Conſtruction eiſerner Brücken nähere Aufklärung gegeben.

Herr Brünell in England iſt durch Beobachtungen des Verfahrens des Schiffswurmes, Teredo navalis, auf die Idee geleitet worden, nach dieſem Verfahren Stollen zu graben, und mittelſt ſolcher einen Fahrweg unter der Themſe anzulegen.

Im Jahre 1809 mißlang der von ihm zu Rotherhithe angeſtellte Verſuch, einen Stollen (Gang) unter der Themſe durchzugraben. Allein demnächſt ward von ihm ein neuer Vortheil angegeben, einen ſolchen Stollen zu graben, welcher gegen alles Einfallen von Sand und überhaupt gegen allen Nachſturz von rollenden Erdlagen ſichert. Die Erdarbeit dieſer unterirdiſchen Straße nahm zwar ſchon im Herbſt 1824 ihren Anfang, jedoch wurde erſt am 5ten März 1825

*) Der Bau der eiſernen Brücke über die Havel in Potsdam wurde im Sommer 1822 angefangen und im Jahre 1825 für die Paſſage eröffnet. Die Brücke beſteht aus acht eiſernen Bogen, welche auf der Eiſengießerei zu Glaiwitz in Oberſchleſien gegoſſen worden ſind und deren Gewicht ſich über 23,000 Centner beläuft. Die ganze Länge beträgt ungefähr 600 Fuß Rheinl., die Breite der Fahrbahn 20 Fuß und die der zu beiden Seiten befindlichen mit Sandſteinen belegten Trottoirs 5 Fuß.

Digitized by Google

der erste Stein zur Grundlage des gewölbten Ganges gelegt. Zu Ende des Jahres 1827 hofft man diese Straße beendigt zu sehen. Es wird ein doppelter Weg angelegt, deren Wölbung mit Backsteinen aufgeführt wird, die mit römischem Kitt verbunden werden, und diese ruht noch überdieß auf in der Mitte freistehenden Pfeilern, welche durch gewölbte Bogen mit einander verbunden sind. Zwischen diesen Pfeilern und den beiden Fahrstraßen befinden sich die Trottoirs für die Fußgänger. Wegen der Einfahrt zu diesem unterirdischem Gewölbe hat man an beiden Enden des Ganges zwei in die Erde gesenkte runde Thürme, mit schneckenförmigem, in schiefer Richtung über einander angebrachten gewölbten Weg in Vorschlag gebracht. Die Sohle dieses Weges enthält also eine solche Neigung gegen den Horizont, daß man durch ein zwei- bis dreimaliges Herumfahren um einen Thurm auf die unterirdische Straße selbst gelangt. Die Erleuchtung dieses kreisförmigen Ganges wird durch Fenster, die an den Seiten des Thurms angebracht sind, sowie die der Straße selbst durch Gas bewerkstelligt werden. Siehe Philosoph. Magazine and Journal August 1823. S. 139. Edinburgh Philosoph. Journal April 1824. S. 246 und Plan zur Führung eines unterirdischen Gewölbes, welches eine doppelte Straße unter dem Bette der Themse bilden soll, nach einer Angabe des Herrn M. J. Brünell.

Es ist offenbar, daß eine Fahrstraße, unter einem Flusse oder Bache hin, und stollenartig durchgegraben, in vielen Fällen, wo der Boden solches gestattet, nicht blos an und für sich wohlfeiler herzustellen ist, als eine solide steinerne Brücke, sondern besonders dadurch sich empfiehlt, daß das darauf gewandte Capital sich reichlich verzinset, und daß keine hohe Fluthen, kein Eisgang Schaden verursachen können. — Der Kostenanschlag der eben erwähnten unterirdischen Straße ist noch nicht öffentlich mitgetheilt worden.

Der älteste Baumeister, der etwas von der Erbauung der Brücken geschrieben hat, ist Leonh. Baptist Alberti,

Digitized by Google

in dem achten Buche seines Werkes von der Baukunst. Nach ihm haben Palladio im dritten Buche, Serlio im dritten Buche ihrer Werke u. a. m. den Bau der Brücken durch Vorschriften und Exempel erklärt. Alles aber, was diese Baumeister gesagt haben, findet man beim Blondel zusammengetragen, in seinem Cours d'Architect. p. V. lib. I. pag. 629 sq. Auch findet man die Regeln des Brückenbaues kurz beisammen in Goldmann's Baukunst lib. IV. c. 4.; in Sturm's vollständiger Anweisung, Stadtthore, Brücken, Zeughäuser u. s. w. gehörig anzugeben, aber noch vollständiger ausgeführt.

Ueber die Brückenbaukunst verbreiten sich ferner folgende Schriften:

Traité de la construction des ponts par le Sr. *Gauthey*.

Theatrum machinarum generale, Schauplatz des Grundes mechanischer Wissenschaften von Jac. Leupold, 9 Bde. mit 482 Kupf. gr. Fol. Leipzig.

Abbildungen vieler der vorzüglichsten alten Brücken findet man in Schramm's historischem Schauplatz, Leipzig, 1735.

Bericht und Beschreibung von Herrn Commerzienrath Polhem's Erfindung, Flußbrücken auf paraboliſch gespannte Bogen einzurichten, zur Vergleichung mit der vormals gebrauchten Art, solche Flußbrücken zu bauen, angegeben von Göran Wallerius, im fünften Buche der übers. Abhandl. der Königl. Schwed. Akad. d. Wissenschaften a. d. Jahr 1743. S. 12—19.

Von Brückenpfeilern siehe Silberschlag's Abhandlung vom Wasserbau an Strömen, Leipzig 1766.

Beantwortung der Frage: Ob es rathsam sey, über einen Strom, der 400 Ellen breit ist, eine Schiff- oder andere Brücke anzulegen? im zwölften Bande der ökonom. Nachrichten. Leipzig, 1760, 8. S. 7—11.

Geneté, praktische Anweisung zu einer besondern Ein-

Digitized by Google

richtung einer horizontalen Brücke, aus d. Franz. mit Kpfrn. Strasburg, 1772, 8.

Silberschlag, ausführliche Abhandlung der Hydrotechnik, zweiter Theil, Cap. 3. von dem Brückenbau. Leipzig, 1773.

Boch, Abhandlung von der Brückenbaukunst, sowohl von Holz als Steinen mit 7 Kpfrn. Augsburg, 1780.

Elevation of the new bridge at Blackfriars with the plan of the fundation and superstructure by Baldwin. Lond. 1789.

Plan's, Elevations and Sections of the Masitures and Centering, usedin erecting Blackfriars Bridge, drawn and engraved by Baldwin. Lond. 1789.

Beschreibung der vier im Königreich Sachsen neu erbauten Brücken über die Saal- und Elbströme, als Anhang zur Anweisung der Zimmermannskunst von Reuß. Leipzig, 1789. Fol.

Analytisch-praktische Abhandlung über die Verzeichnung großer gedruckter Bogen in vorzüglicher Hinsicht auf den Brückenbau, von Müller. Göttingen, 1792.

Versuch einer gründlichen Anleitung zum Bau hölzerner Brücken, von Maltzan. Berlin, 1805.

Darstellung des Brücken- und Straßenbaues in Galizien, von Groß, und ebenfalls von Jeckel. Wien, 1810.

Theoretisch-praktische Anweisung, wie allerlei Arten von Brücken sowohl von Holz als von Steinen dauerhaft anzulegen sind, von C. Walther, verbessert von Mayer. Augsburg, 1819.

Langsdorff's Anleitung zum Straßen- und Brückenbau. Mannh. 1817. Dessen 2ten Theils 1ste Abtheil., welche die Bestimmungen in Bezug auf Bogenweiten u. s. w. enthält. Heidelberg, 1819.

Perronel's Werke, die Beschreibung der Entwürfe und der Bauarten der Brücken bei Neuilly, Nantes, Orleans u. s. w., den Entwurf des burgundischen Canals und

Digitized by Google

den der Wasserleitung von der Thvette und Bievre nach Paris, sowie mehrere einzelne Abhandl. enthaltend; aus dem Franz. übersetzt von J. F. W. Dietlein, mit 2 Abth. mit 54 Kupfern. Halle, 1820.

Praktische Darstellung der Brückenbaukunde, von Röder. 2 Theile. Darmstadt, 1821.

Versuch einer neuen Brückenbauart, von Greisheim.

Einen Anschlag zu steinernen Brücken findet man in Huth's Unterricht von Bauanschlägen, im zweiten Theil, Cap. 6. S. 110.

Zur Sicherheit und Bequemlichkeit des Seewesens wurden schon in den frühesten Zeiten Hafen-, Meer-Dämme oder Mole mit großen Kosten aufgeführt, um die Schiffe gegen die Gewalt der Winde zu decken.

Mit vieler Sorgfalt suchten die Alten einen bequemen Platz aus, um einen guten Hafen darauf anzulegen. So bestand der größte Vortheil des Hafens von Alexandria darin, daß die Schiffe beinahe mit allen Winden frei einlaufen konnten.

Es wurden die von der Natur angelegten Hafenbasins, welche von den Küsten gegen heftige Stürme geschützt waren, benutzt, und um eine große Anzahl Schiffe zu fassen, wurden sie nicht nur erweitert, sondern auch zu zwei Abtheilungen eingerichtet, damit die Kauffahrteischiffe einen abgesonderten Platz von den Kriegsschiffen erhalten konnten. So waren die Häfen von Carthago und Alexandrien beschaffen. Keine Mühe und Kosten sparten die ältesten Völker, um den Hafen gegen die Gewalt des Stromes, gegen die starken Brandungen der See zu schützen, und ihm überhaupt eine solche Lage und guten Ankergrund zu geben, daß die Schiffe gegen Stürme und feindliche Ueberfälle in Sicherheit liegen konnten. So wurde der Hafen an der Insel Rhodus aus zwei Steindämmen angelegt, welche einen halben Cirkel bildeten und einen so kleinen Eingang hatten, daß nur ein Schiff durch solchen einlaufen konnte. Dieser Eingang war durch zwei große Thürme gedeckt,

Digitized by Google

die auf zwei Felsen ſtanden. Auf denſelben wurde eine Bildſäule, 126 Fuß hoch, deren linke Hand eine große Pfanne hielt, in welcher ein nächtliches Feuer flammte, errichtet. Ein Fuß von dieſer großen Säule ſtand oben auf dem einen Felſen und der andere auf dem andern, ſo daß die Schiffe mit aufgerichteten Maſtbäumen zwiſchen den beiden Füßen hindurch gehen konnten. Um den Schiffen eine bequeme Einfahrt zu gewähren und ſie gegen den Strom zu ſchützen, ward ein Steindamm 300 Schritt weit in die See hineingeführt. Die Bauart dieſer aufgeführten Steindämme iſt nicht bekannt.

Merkwürdig iſt hingegen, in Rückſicht der Bauart mit Steinen und Bäumen, der Damm, welcher Tyrus mit der vor ihm liegenden Felſeninſel verbindet. Bei der Belagerung von Tyrus ließ Alexander den Damm aufführen. Erſt wurden große mit Steinen belaſtete Bäume mit ihren Zweigen in's Meer geworfen, (wahrſcheinlich fachweiſe) und damit fortgefahren, bis der Damm aus dem Grunde über dem Meere hervorragte; dann wurde der Damm mit Erde gefüllt und mit ſolcher bedeckt.

Ueberhaupt erregen die Ruinen verſchiedener alter Häfen, nicht nur wegen ihrer darauf verwandten Mühe und Arbeit, ſondern auch wegen ihrer Conſtruction und allerlei Arten angebrachter Verzierungen, Bewunderung. Die Hafen, welchen Nero in ſeinem Vaterlande Antium, Claudius an der Mündung der Tiber, Antoninus Pius zu Terracina, Trajanus zu Civita Vecchia anlegten, gewährten einen angenehmen Anblick, indem ſie mit bedeckten Gallerien, Springbrunnen und ſchönen Bildhauerwerken geziert waren. Gleichwohl zählt man dieſe nicht zu den berühmteſten Häfen des Alterthums, ſondern die zu Miſenum, Syracuſa, Alexandria, Meſſina u. a. m. Man ſehe Fourniers Hydrogaphie und Belidors Architecture hydraulique. Patte giebt uns in ſeinen Memoiren sur les objets les plus importans de l'architecture, p. 224 einen nähern Aufſchluß, als Belidor, über den Bau der alten Dämme.

Digitized by Google

Er sagt: „ohne Zweifel kommt wohl das Verfahren der Alten nicht derjenigen Methode gleich, nach welcher die Hafendämme von Cherbourg construirt sind. Man bediente sich dazu dicker Pontons mit platten Boden, deren Borde leicht auseinander genommen werden konnten. Nachdem man sie mittelst Schiffen und Kabeltauen auf den geebneten Bezirk, worauf sie versenkt werden sollten, gebracht hatte, so wurde darin gemauert. Auf diese Weise senkte man jeden wasserdichten Kasten auf den Meeresgrund hinab, einen neben dem andern, so daß die Wände zweier Kasten über die Scheidungslinie der nächst unten liegenden zu stehen kamen. So wie ein Kasten gesenkt war, wurden diese Seitenwände abgeschlagen, aufgezogen, und zu einem zweiten gebraucht. In diesen Kasten wurden also ganze Mauerstücke, deren Basis aus einem Holzboden bestand, aufgeführt, und die kleinen Zwischenräume mit Mörtel und Steinschutt gefüllt. Die Oberfläche der Hafendämme wurde dann noch mit Quaderstücken belegt."

Die Bauart der alten Dämme ist allerdings von Belidor beschrieben, aber die Construction desjenigen Theils, welcher in das Meer ging, ist nicht vollständig genug, um darüber etwas bestimmtes zu sagen. Nur wissen wir, daß die Versenkung der Kasten mit Mauerwerk den Römern nicht unbekannt gewesen ist. Sie bedienten sich aber statt der Kasten auch alter Schiffe, welche sie mit Steinen und Mörtel füllten und dann versenkten. In den Hafen der Tiber versenkten sie auf diese Art das Schiff, welches den Obelisk, der auf dem Platze vor der Peterskirche steht, nach Italien hinübergetragen hatte.

Diese Bauart, Hafendämme von eingesenktem Mörtel und Steinen aufzuführen, verdanken die Römer ihrem berühmten Baumeister Vitruv, der zuerst das Gründen unter dem Wasser lehrte. Hirt erzählt uns in seiner Baukunst u. s. w. Seite 121 u. s. w. hierüber Folgendes: „Man verfertige aus eichenen Pfählen und Querbändern wohlverbundene Kästen, welche an dem hierzu ausge-

Digitized by Google

wählten Orte ins Wasser gelassen und festgestellt werden. Dann werde der Grund unter dem Wasser innerhalb derselben vermittelst untergelegter Schwellen abgeglichen, und die Bruchsteine, welche in dem Troge mit dem angegebenen Mörtel (2 Theile Puzzolane mit 1 Theil Kalk) wohl gemischt worden sind, hineingegossen, bis der ganze zu bebauende Raum zwischen den Kästen ausgefüllt ist. Auf dieselbe Weise schreitet man dann mit der Gründung der andern Pfeiler fort, welche zur Bildung des Armes erforderlich sind."

„Ist aber das Meer stürmisch, so daß sich keine Kästen feststellen lassen, so beginne man den Bau vom Lande aus, und zwar wie folgt:"

„Man mauere am Ufer einen sehr festen Damm auf, der nicht ganz in seiner vollen Hälfte wagerecht abgeglichen wird; der übrige Theil aber, welcher an der Wasserseite liegt, werde abhängend gemacht, und in der Fronte gegen das Wasser sowohl als an den beiden Seiten mit einem ungefähr 1½ fußigen Rande umgeben, der so hoch ist, daß er mit der obern Fläche des gemauerten Dammes wagerecht läuft. Dann fülle man diesen abschüssigen Raum mit Sand aus, bis zur wagerechten Fläche mit dem Rande und dem festaufgeführten Damme. Auf diese Erhöhung nun mauere man einen Pfeiler in der vorher zu bestimmenden Größe, lasse ihn nicht weniger als 2 Monate hindurch austrocknen; schneide dann den anderthalbfußigen Rand ab, so daß der Sand von den Fluthen weggespült wird und der Pfeiler ins Meer stürzt. Auf diesen Pfeiler errichte man den zweiten auf dieselbe Weise u. s. f. bis die ganze Gründung des im Meere zu führenden Grunddammes vollendet ist"

Vitruv lehret im Wesentlichen weiter: „Fehlet es aber an Puzzolane, so mache man wohlverbundene Kästen mit doppelten Wänden, zwischen welchen, nachdem sie an dem gehörigen Orte im Meere aufgestellt sind, Säcke, von Schilf geflochten und mit Kreide gefüllt, fest eingestampft werden. Dann wird das Wasser aus diesem Einfange durch Ma-

Digitized by Google

ſchinen bis zur Trockenheit ausgepumpt und darin die Fundamente gegraben. Trifft man auf feſte Erdlagen, ſo bedarf es nur einer geringen Vertiefung, die dann mit Bruchſteinen und Mörtel in etwas größerer Breite, als die darüber zu errichtende Mauer werden ſoll, ausgefüllt wird. Iſt aber die Stelle locker, ſo wird ein ordentlicher Pfahlroſt gelegt, und die Mauer darauf aus langen Quadern mit abwechſelnden Läufern und Streckern aufgeführt. Der Zwiſchenraum innerhalb dieſes Mauerwerks werde dann entweder blos mit Mörtel und altem Mauerſchutt ausgegoſſen, oder ordentlich ausgemauert."

„Dieſe Verfahrungsmethode, im Waſſer zu gründen, ſey es bei Hafen- und Brückenbau, ſey es bei andern Waſſerbauen, iſt auch als die beſte und ſicherſte von den Neuern befunden worden."

„Dagegen verdient die Gründungsart einiger Neuern beim Brückenbau weniger Beifall. Sie beſteht darin: erſtlich, daß man in dem Waſſer eine Verpfählung einſchlägt und dann das Vorragende dieſer Pfähle unter dem Waſſer wagerecht mit dem Flußbette" (? Waſſerſpiegel) „vermittelſt einer hierzu erfundenen Maſchine abſägt. Auf dieſe Verpfählung nun werden die einzelnen Pfeiler, welche in einem wohlverbundenen eiſernen Kaſten ausgemauert ſind, eingeſenkt. Allein es ſpringt in die Augen, wie mißlich und umſtändlich dieſe ganze Verfahrungsart iſt, und wie leicht und bald ein ſolcher Brückenbau gefährdet werden kann."

Man ſieht, daß Hirt, dieſer hohe Verehrer der Alten und aller ihrer Bauwerke, unbedingt den Bau mit Fangdämmen dem mit verſenkten Käſten vorzieht. Allein ſelbſt Perronet entſchloß ſich zu dieſer Bauart bei der Brücke von Saumur, nachdem ſchon ein Pfeiler in 12 Fuß dicken Fangdämmen errichtet war.

Temple ſagt S. 29 u. f. ſeines Tr. on building in Water, Dublin 1776, daß bis zum Jahre 1757 der Bau mit Fangdämmen in England gar nicht bekannt geweſen ſey.

Digitized by Google

Eine der älteſten Verfahrungsarten unter dem Waſſer zu gründen, iſt der Bau mit loſen Steinen. Die Hafendämme von Rochelle und der Meerdamm von Cette ſind einige der merkwürdigſten von Steinen aufgeſchütteten Bauwerke. Dieſer loſe Steinbau wurde auch zuweilen mit der Verſenkung von Steinkäſten verbunden, wenn der Meeresgrund ſchlammig war, wie an dem Steinrevetterement von Cadix geſchehen iſt.

In Holland werden zuerſt Senkſtücke von Faſchinen eingeſenkt, worauf alsdann große Steine geworfen werden, wie denn ein ſolcher Bau in Maarsdiep vor dem Helder bis zu einer Tiefe von 80 Schuh aufgeführt iſt.

Einige Waſſerbauwerke hat man auch zuerſt auf einem Pfahl- und Schwellroſt aufgemauert, wie die Hafendämme bei Bayonne, und dann mit Steinböſchungen verſehen. Noch andere ſind erſt in Käſten aufgemauert, wie der Meerdamm vor dem Hafen von Nizza. — Die beim Hafenbau von Toulon gebrauchte Gründung durch Senkkäſten und die in den neuern Zeiten erbaueten Häfendämme von Faſchinen und Steinen, Buſchſteinwerke genannt, kann man als eine weſentliche Verbeſſerung und Fortſchreitung des Hafenbaues betrachten.

Da die Bauart mit Steinverſenkungen und die ſonſt ſehr dauerhaften gemauerten Bauwerke, auf Steinſchutt gegründet, zu koſtſpielig waren, als daß man ſich ihrer in vielen Fällen bedienen konnte, und da ein aus Pfählen und Holzwänden conſtruirtes Bauwerk von dem Holzwurm in der Nordſee zermalmt und von Seewaſſer und Luft verzehrt wird und alſo keine lange Dauer verſpricht, ſo mußte eine mehr einfache, minder koſtſpielige und in hydrotechniſcher Beziehung allen übrigen vorzuziehende Bauart eine bedeutende Veränderung in der Aufführung von Häfendämmen veranlaſſen.

Die franzöſiſchen Ingenieurs haben in Hinſicht der Gründung unter Waſſer große Verbeſſerungen erfunden und den Bau der Senkkäſten bedeutend vereinfacht.

Digitized by Google

Die Zusammenfügung eines von Faschinen erbaueten Senkwerkes und dessen Versenkung, sowie auch Hafen- und Meerdämme von Buschsteinwerke aufgeführt, entsprechen allen hydrotechnischen und ökonomischen Absichten. Die in Holland und an mehreren Orten angelegten Faschinenwerke beweisen deutlich, daß sie der schäumenden Woge und des Fluthstromes Gewalt, wenn der Sturmwind solche gegen sie treibt, ohne die mindeste Beschädigung zu leiden, widerstehen können; deswegen spricht bei allen holländischen Hydrotekten nur eine Stimme zu ihrem Lobe. Auch hat die Gesellschaft der Experimentalphilosophie zu Rotterdam dem Inspector Goudrian eine goldene Medaille zuerkannt, weil er die Vorzüge dieser Bauart vor allen übrigen in seiner Preisabhandlung, die im elften Theile der Schriften dieser Gesellschaft abgedruckt ist, entwickelt hat.

Die Lehre von der Construction der Faschinenwerke überhaupt findet man in Wiebeking's theoretischer und praktischer Wasserbaukunde, 1r Band, S. 264 — 314, in Eytelwein's praktischer Anweisung zur Bauart der Faschinenwerke, zweite Aufl., Berlin, 1818 und in Schemerl's Abhandlung über die vorzüglichste Art, an Flüssen und Strömen zu bauen, Wien, 1803, angegeben.

Außer den bereits angeführten Schriften verbreitet sich auch nachstehende über die Anlegung der Häfen: Ausführliche Abhandlung der Hydrotechnik von Silberschlag. II Thl. Kap. XIII. Leipzig 1773.

Der im vorigen Jahre von Joh. White, Baumeister in Middleser erfundene Wellenbrecher oder schwimmende Hafen wird wahrscheinlich binnen Kurzem alle übrigen Bauarten außer Gebrauch setzen.

Dieser schwimmende Hafen besteht aus einer Reihe viereckiger Rahmen von leichtem, 18—20 Zoll dickem und 30—50 Fuß langem Zimmerholz, welche unter einander verbunden und durch Ankertaue oder Ketten an Ankern oder Blöcken befestigt sind. Sie werden in krummen Linien oder in Winkeln angelegt, so daß sie einen Wall oder Damm

Digitized by Google

gegen die See bilden, hinter welcher Raum genug zur Aufnahme der Schiffe bleibt, wo diese gegen alle Wogen und Brandungen gesichert vor Anker liegen können. Es kann die Höhe dieser Rahmen nach Umständen vergrößert werden, um die den Wogen Widerstand leistende Oberfläche mehr zu erhöhen, indem man ähnliche Rahmen über einander fügt. An einem steinernen Damme schlagen die Wogen auf eine feste Fläche und es folgt ein vergrößerter Aufruhr derselben; an jeder Seite des Vorsprungs bildet sich eine neue Strömung. Der schwimmende Damm hingegen bietet eine nachgebende und eine Reihe von nachgebenden Flächen dar; der eine Theil der Wogen oder der Strömung geht unter demselben durch und auf diese Weise kommt das Wasser unter der Windseite schneller ins Gleichgewicht. Auch kann dieser Wogenbrecher mittelst leerer Fäßer oder Kisten oder anderer leichter Gegenstände, welche an dem Rahmen angebracht werden, höher flotten gemacht werden.

Die Vortheile einer solchen Anlage zu verschiedenem Zwecke sind einleuchtend, und ihre Güte und Brauchbarkeit als schwimmender Hafen beurkundet ein von 5 Hafenmännern zu Deal unterzeichnetes Zeugniß.

Dieser Wellenbrecher oder schwimmende Hafen ist beschrieben in dem London Journal of Arts and Sciences. Mai 1824. S. 232 und in Dinglers polytechnischem Journal XV. B. 1 H. S. 5. Unweit Edinburg im Hafen Newhaven bei Briggton ist von dem Erbauer der Unionbrücke, Capitain Brown, im Jahre 1822 laut Aufforderung von der bei der Schifffahrt von London nach Leith, Edinburg und Glasgow interessirten Handelscompagnie ein hängender Hafendamm über den Meeresarm Frithofe-Forth angelegt. Man hat ihm den Namen „Dreieinigkeits-Hafendamm" gegeben, nach dem Namen der Handelsgesellschaft, welche die Baumaterialien für die vorzüglichsten Häfen Englands besorgt.

Dieser Hafendamm ist 1134 englische Fuß lang. Er ist in 4 Joche abgetheilt, wovon jedes 260 Fuß Länge hat,

Digitized by Google

und endigt mit einer einen Kopf vorstellenden Plattform, welche mit Steinplatten belegt, 100 Fuß lang und 40 Fuß breit ist und an ein Quadrat von 60 Quadratfuß grenzt. Der Fußboden ist zur Zeit der Ebbe 30 Fuß hoch über dem Niveau des Meeres, und man bemerkt an ihm nicht die geringste Biegung. Die ungefähr 25 Fuß hohen Pfeiler, aus 3 Zoll dicken Platten von Gußeisen gebildet, ruhen auf Grundpfählen von Tannenholz, welche einen Quadratfuß stark sind und ihre Structur, an der Basis breiter als oben, giebt einen Anblick, welcher hinsichtlich ihrer Dauer dem Auge genügt. Man hat zu diesem Hafendamm vier Ketten, jede zu 21 Linien Durchmesser, angewandt, welche paarweise vereinigt sind, so daß die verticalen Stäbe jedesmal von 2 Ketten getragen werden. — Unter dem Fußboden befinden sich, so lang als die Brücke ist, 2 auf der schmalen Seite liegende Schienen von 2 Zoll Höhe und $\frac{1}{2}$ Zoll Dicke; sie werden von den verticalen Stäben gehalten, welche zu diesem Zwecke an ihrem Ende eine Gabel haben. Auf diesen Schienen ruhen die Querhölzer, welche den aus 3 zölligen Tannenbohlen bestehenden Fußboden tragen.

Die Ketten an der Küstenseite sind 10 Fuß tief im Erdboden an große gußeiserne, wie ein Anker mit runder Kappe gestaltete Stücke befestigt; von der andern Seite verlängern sie sich unter einem Winkel von 45 Graden bis in das Meer, wo sie durch starke hölzerne Kasten festgehalten werden.

Das Anlegen der Schiffe geschieht im Innern der Plattform, wo man in verschiedenen Höhen Anlegestellen mit Treppen angebracht hat.

Das Geländer ist von Gußeisen; es geht nicht blos um die Brücke und die Plattform, sondern auch um die Pfeiler herum, wobei es einen Raum von 7 bis 8 Fuß läßt, damit man rund herum gehen kann. Der Erbauer hat das Talent, überall das Nützliche mit dem Angenehmen zu verbinden; dies sieht man vorzüglich an den 8 kleinen Kammern, welche er im Innern der 8 Pfeiler angelegt hat; jede

Digitized by Google

derselben, zu den verschiedenen Bedürfnissen des Brückendienstes bestimmt, ist 7½ Fuß breit und 12 Fuß lang *).

Die Anwendung dieses Bausystems bei Hafendämmen an Stapelplätzen, um das Aus- und Einladen an solchen Stellen zu erleichtern, welche bei unruhiger See viel von den Wellen zu leiden haben, ist sehr wichtig und zweckmäßig.

---

*) Siehe Edinb. Philos. Journ. No. XI. p. 22 etc. und Annales de l'industrie nationale etc. tome XVI. p. 291.

Digitized by Google

Erſter Abſchnitt.

Von den Geſetzen, nach welchen die Kräfte, die auf feſte Körper wirken, gegen einander wirken müſſen, wenn das Gleichgewicht erfolgen ſoll.

Einleitende Erklärungen und Bemerkungen.

§. 1. Wenn zwei oder mehrere Kräfte einander ſo entgegen wirken, daß keine Bewegung, weder von der einen noch von der andern Kraft erfolgt, ſo ſagt man, die Kräfte ſind mit einander im Gleichgewicht. Von dieſen entgegenwirkenden Kräften nennt man gewöhnlich diejenige, welche überwältigt werden ſoll, um Bewegung hervorzubringen, die Laſt.

Das Verhältniß der Menge von Materie, welche ein Körper enthält, zu der Anzahl von gleichen materiellen Theilen, die in einem andern Körper von derſelben Größe enthalten ſind, bezeichnet die Dichtigkeit; daher verhält ſich die Dichtigkeit gerade wie die Maſſe, und umgekehrt wie der Inhalt des Körpers. —

Da nun vermöge der Erfahrung die Menge der materiellen Theile, welche den Raum der Körper ausfüllen, oder die Maſſen verſchiedener Körper, ſich wie ihre Gewichte verhalten, ſo folgt daraus, daß die Dichtigkeit aller Kör-

Digitized by Google

per sich gerade wie ihre Gewichte und umgekehrt wie die Größen der Räume, die sie einnehmen, verhalten, oder daß das umgekehrte Verhältniß der Größe zweier Körper, deren Gewichte an einerlei Orte gleich gefunden worden, das Verhältniß ihrer Dichtigkeit angiebt.

§. 2. Alle Körper auf der Erde äußern ein Bestreben, senkrecht gegen die Erde herabzufallen, und fallen wirklich, wenn sie nicht unterstützt, sich selbst überlassen sind, bis sie auf irgend etwas treffen, wodurch ihre Bewegung nach unten in lothrechten Linien unterbrochen, oder ihr ferneres Herabsinken verhindert wird. Dies Bestreben nach Bewegung wird durch eine Kraft verursacht, welche wir mit dem Worte Schwere bezeichnen. Die Kraft, welche nöthig ist, um einen Körper am Fallen zu hindern, nennt man gewöhnlich Gewicht. Den Unterschied zwischen Schwere und Gewicht giebt Condorcet an, wenn er sagt: „Die erstere ist die Kraft, welche jedem Theile der Materie eine gewisse Geschwindigkeit mittheilt oder mitzutheilen strebt, welche von der Anzahl der materiellen Theile durchaus unabhängig ist, und das letztere ist die Kraft, welche angewandt werden muß, um eine gegebene Masse zu hindern, dem Gesetze der Schwere zu folgen. Gewicht hängt demnach von der Masse ab, Schwere aber nicht."

Vom Gleichgewichte der Kräfte an festen Körpern.

§. 3. Wenn ein schwerer Körper durch eine der Richtung der Schwere gerade entgegenwirkende Kraft im Gleichgewichte erhalten wird, so ist diese Kraft dem Gewichte des Körpers gleich; denn wenn zwei gleich große Kräfte auf einen festgehaltenen Punkt eines festen Körpers, um welchen eine Drehung erfolgen kann, nach gerade entgegengesetzter Richtung wirken, so bleibt der Punkt in Ruhe; die Kräfte erhalten

Digitized by Google

einander im Gleichgewichte, ſie mögen, in welchem Punkte ihrer Richtungslinie man will, an dem feſten Körper angebracht ſeyn; denn keine der Kräfte kann ſich drehen, weil ſie einander entgegenwirken. Die Unterſtützung trägt die Summe der beiden Kräfte.

§. 4. Wenn mehrere Kräfte auf einen Körper wirken, und es ſind z. B. zwei derſelben für ſich im Gleichgewichte, ſo iſt die geſammte Wirkung aller Kräfte gleich groß, jene beiden ſich im Gleichgewichte haltenden Kräfte mögen wirkſam bleiben, oder ganz fehlen. Wenn alſo Kräfte irgendwo wirken, ſo kann man ſich außer dieſen Kräften noch andere, im Gleichgewichte ſtehende Kräfte hinzudenken, oder wirklich anbringen, und die vereinigte Wirkung der Kräfte bleibt dennoch ungeändert.

§. 5. Wenn zwei oder mehrere Kräfte zu gleicher Zeit auf einen Körper oder auf einen materiellen Punkt wirken, ſo wird der vereinigte Erfolg, welchen ihre gleichzeitigen Wirkungen haben, oder eine Kraft von einer gewiſſen Größe und Richtung, welche daſſelbe bewirkt, als jene zuſammengenommen, die Mittelkraft genannt, und die verſchiedenen Kräfte, aus denen ſie zuſammengeſetzt iſt, heißen die äußern oder Seitenkräfte.

Nimmt man an, daß auf einen Punkt A Fig. 1 zwei Kräfte zu gleicher Zeit wirken, deren Richtungen AP, AQ, einen Winkel mit einander bilden, ſo kann kein Gleichgewicht beſtehen, die Kräfte mögen gleich oder ungleich ſeyn, weil die Bewegung des Punktes weder der einen noch der andern Richtung entſpricht. Es wird aber deſſen ungeachtet Bewegung entſtehen, und zwar in einer innerhalb des Winkels PAQ liegenden Richtung AR. Dieſe Bewegung iſt alſo eine Folge der vereinigten Wirkung von P und Q oder einer einzigen aus ihnen zuſammengeſetzten Kraft, die wir R nennen wollen, und es kann nur dann Gleichgewicht ſtattfinden, wenn außer P und Q noch eine dritte Kraft $R' = R$, in entgegengeſetzter Richtung AR′ wirkend, vorhanden iſt. Den aus der vereinten Wirkung der Kräfte

Digitized by Google

P und Q auf die Unterstützung in A nach der Richtung AR entstehenden Druck nennt man die **mittlere Kraft**, so wie die Kräfte P und Q die **Seitenkräfte**.

Von der Zusammensetzung der Kräfte.

§. 6. Wenn AP und AQ Fig. 2 die Größe und Richtung zweier Seitenkräfte vorstellen, so drückt AR, als die Diagonale des Parallelogramms, die Größe und Richtung der mittleren Kraft aus; denn man fälle von P und Q auf AR die Perpendikel PF und EQ und beschreibe die Rechtecke GFCA, EQAD, so kann man sich AQ aus den Kräften AD und AE, AR aus den Kräften AC und AF zusammengesetzt vorstellen. Nun fallen AE und AF beide auf AR und treiben den Punkt A gemeinschaftlich nach der Richtung AR; die Kräfte AC, AD sind entgegengesetzt und heben sich auf, daher die gesammte Wirkung der Kräfte an A eine mittlere Richtung nach AR hervorbringt, oder die Diagonale AR des Parallelogramms ist die Mittelkraft von AP und AQ.

Nach der Construction ist

$$\triangle PFR \overset{\sim}{=} \triangle EAQ \text{ folglich}$$
$$AE = RF \text{ daher}$$
$$AE + AF = RF + AF = AR$$

Da nun die zwei Kräfte sich einander heben und nur die übrigen nach AR wirken, so ist es einleuchtend, daß die mittlere Kraft AR stets kleiner ist, als die Summe der beiden Seitenkräfte AP + AQ. Je stumpfer der Winkel ist, welchen die beiden Seitenkräfte mit einander bilden, desto kleiner wird die mittlere Kraft, also desto größer der Theil der Seitenkräfte, welcher sich aufhebt.

§. 7. Ein Parallelogramm, das aus Linien gebildet ist, die den Seitenkräften proportional sind, und eben den Winkel einschließen, welchen die Richtungen der Seitenkräfte bilden, heißt das **Parallelogramm der Kräfte**. In einem solchen Parallelogramm sind drei durch Linien angedeutete

Digitized by Google

Kräfte, ferner drei Richtungswinkel, die gegenseitig von einander abhängen, zu betrachten.

Sind von diesen Größen drei gegeben, als

1) die beiden Seitenkräfte und die Mittelkraft;
2) die eine Seitenkraft, die Mittelkraft und der eingeschlossene Winkel;
3) die Mittelkraft nebst den Winkeln, unter welchen die Seitenkräfte gegen sie geneigt seyn sollen;
4) die Seitenkräfte nebst den Winkeln des Parallelogramms;
5) die eine Seitenkraft und die Winkel, welche sie mit der Mittelkraft und mit der andern Seitenkraft macht;

so lassen sich die übrigen durch die Zeichnung des Parallelogramms bestimmen. Sind dagegen die Winkel n, x und y Fig. 3 gegeben, so läßt sich die eine Seitenkraft aus der andern, oder die mittlere Kraft aus den Seitenkräften, mittelst Anwendung des trigonometrischen Lehrsatzes: daß die Seiten in jedem Dreiecke sich wie die Sinus der gegenüberstehenden Winkel verhalten, leicht berechnen. Ebenfalls kann man auch mittelst Anwendung der Trigonometrie den Werth für die Mittelkraft AR finden, wenn die Seitenkräfte AP, AQ nebst dem Winkel n gegeben sind; denn der Winkel $AQR = 180° - n$ ist auch gegeben, folglich hat man im Dreiecke AQR zwei Seiten und den eingeschlossenen Winkel gegeben, woraus die gegenüberstehende Seite AR gefunden werden kann. Bezeichnet R die Mittelkraft, so ist demnach die Größe der mittleren Kraft

$$R = \sqrt{P^2 + Q^2 \pm 2P.Q.\ \text{Cos}\ n}$$

Das obere Zeichen + gilt für einen spitzen, das untere Zeichen — für einen stumpfen Winkel. Es verhält sich aber

$$R : Q = \text{Sin}\ n : \text{Sin}\ y$$
$$R : P = \text{Sin}\ n : \text{Sin}\ x$$

Wird nun der Werth für R geschrieben, so ist

$$\text{Sin}\ y = \frac{Q.\ \text{Sin}\ n}{\sqrt{P^2 + Q^2 \pm 2P.Q.\ \text{Cosin}\ n}}$$

Digitized by Google

$$\text{Sin } x = \frac{P.\ \text{Sin } n}{\sqrt{P^2 + Q^2 \pm 2P.Q.\ \text{Cosin } n}}$$

Wird der Winkel n ein rechter, so ist

$$R = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

gleich der Hypothenuse des rechtwinkligen Dreiecks, worin die beiden Katheten die Seitenkräfte vorstellen.

Wäre bloß die Mittelkraft und keiner der Winkel gegeben, so ist die Aufgabe unbestimmt.

Wirkt eine Kraft R unter einem schiefen Winkel β gegen eine feste Ebene AB Fig. 4, so zerlegt man die Kraft in die Seitenkräfte P und Q, wovon P auf AB senkrecht, Q mit AB parallel sey.

$P = R.\ \text{Sin } \beta$, $Q = R\ \text{Cosin } \beta$. ferner ist hiernach $\frac{P}{Q} = \frac{\text{Sin } \beta}{\text{Cosin } \beta} = \text{Tang } \beta$

und $\frac{Q}{P} = \frac{\text{Cosin } \beta}{\text{Sin } \beta} = \text{Cotang } \beta$

Blos die Kraft P wirkt auf die Ebene AB. Hieraus folgt, daß eine Kraft, welche unter einem schiefen Winkel gegen irgend einen festen Körper gerichtet ist, desto weniger wirkt, je schiefer der Winkel ist.

Jede Kraft läßt sich nicht blos in zwei, sondern in so viele Seitenkräfte zerlegen, als man will, und diese brauchen selbst nicht einmal alle in einer Ebene zu liegen. Da eine einzelne Kraft wie AR Fig. 2 die Mittelkraft der zwei Kräfte AP und AQ ist, welche zwei einander schneidende Seiten eines Parallelogramms sind, dessen Diagonale AR ist, und da jene einzelne Kraft von den beiden Seitenkräften ebenfalls die Mittelkraft von andern zwei Seitenkräften ist, welche sich zu ihr verhalten, wie die Seiten jedes Parallelogramms zu ihrer Diagonale, so kann die einzelne Kraft AR in so viele Paare von Kräften zerlegt werden, als Parallelogramme über derselben Diagonale beschrieben werden können; denn jede von den beiden Seitenkräften läßt sich wieder von neuem auf dieselbe Weise in zwei andere zerlegen, und jede von den letztern wieder in

Digitized by Google

zwei. Es ist daher klar, daß die ursprüngliche Kraft auf diese Art in jede beliebige Anzahl von Kräften zerlegt werden kann, wobei die Richtungen der letztern in einerlei Ebene, oder in verschiedenen liegen können. — Dieser Satz findet seine Anwendung in der sogenannten Reduction der Kräfte, oder wenn man die Wirkung, welche sie nach irgend einer gegebenen Richtung haben, schätzen will.

Nähere Belehrung findet man in Eytelweins Handbuch der Statik fester Körper, Band 1.

§. 8. Die Lehre von der Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte ist für die praktische Anwendung äußerst wichtig, daher hier Folgendes, welches aus Schmidt's Mathematik und Röders Brückenbaukunde entlehnt ist, als Beispiel angeführt werden soll. Es sey ACB Fig. 5 ein Faden, in dessen Mitte ein Gewicht C hänge, in A und B zwei Kräfte, welche den Faden nach der Richtung ACB zu spannen suchen. Es wird ein Gleichgewicht zwischen den drei Kräften ACB stattfinden, wenn sich die drei Kräfte gegen einander verhalten, wie die Linien AC, 2DC, CB; denn jede der Kräfte A, B, läßt sich in zwei nach CE, CD und CD, CF zerlegen; CE und CF sind gleiche entgegengesetzte Kräfte, welche sich aufheben, folglich wirken blos die Kräfte nach DC der C entgegen und sind ihr für den Zustand des Gleichgewichts gleich. Diesen Satz kann man auch so ausdrücken $\frac{1}{2}$ C : B = DC : CB. Hieraus erhellet, daß die Kräfte A und B desto größer gegen die Kraft C seyn müssen, je kleiner bei gleicher Weite AB die Linie DC ist, oder je stumpfer der Winkel ACB ist. Sollte sich ACB in die gerade Linie ADB verwandeln, so müssen die Kräfte A und B gegen C unendlich groß seyn, d. i. es ist keine Kraft in der Welt im Stande, einen Faden völlig zu spannen, wenn auch nur das kleinste Gewicht in seiner Mitte hängt. Verhält sich DC : CB = 1 : 10, so sind in A und B 5 ℔, zusammen 10 ℔ Kraft nöthig, um 1 ℔ in C zu erhalten.

Sehen wir CT Fig. 7 für eine Strebe an, welche den Winkel a mit dem Horizonte macht, so wird sich der Druck,

Digitized by Google

den sie in T verursacht, in zwei Seitenkräfte zerlegen; in den Seitenschub TL gegen das Widerlager und den verticalen Druck in TK. Mit dem Hypothenusenwinkel a nimmt K zu und L ab; wenn aber a gleich 45°, so ist L = K, welches der vortheilhafteste Strebewinkel ist. Je kürzer bei gleichem Neigungswinkel a eine Strebe ist, mit desto weniger Kraft wird sie in der Richtung ihrer Länge gedrückt, um so weniger ist sie in Gefahr ausgebeugt zu werden, aber um so weniger Last nimmt sie auch dem Balken AB ab. Mit Zunahme ihrer Länge ist alles dieses umgekehrt. Der Seitenschub solcher Streben ist dem Schub des Zapfens gegen die Wand des Zapfenloches gleich.

Die Fig. 7 stellt die Hälfte eines Sprengwerks vor; sieht man daher 1) die Last auf die 4 Stützpunkte, auf den Widerlagern und Streben als gleich vertheilt an, nennt AC = c den auf C fallenden Theil der Last Q, AT = h und den Seitenschub TL = S, so ist $S = Q' \cot a$. Da aber bei Sprengwerken der Punkt T wegen des höchsten Wassers gewöhnlich gegeben ist, so ist $\cot a = \frac{c}{h}$ und $S = Q' \frac{c}{h}$ 2) für den Fall, wenn eine Last P′ auf der Mitte des Balkens in B liegt und kein anderes Gewicht in Rechnung kommt, nimmt man AB = b, so hat man nach Eytelweins Statik 2ter Theil §. 348. folgende Formel für

$$Q' = \frac{3b^2 - c^2}{4c\,(3b - 2c)}\,P' \text{ und } S = \frac{3b^2 - c^2}{4h\,(3b - 2c}\,P'$$

3) Wenn aber P′ nicht auf die Mitte des Balkens, sondern gleichförmig auf seine Länge vertheilt wäre, so daß auf jeden Längenfuß g′ Pfunde kämen, so ist

$$Q = \frac{8b^3 + c^3 - 4b.\,c^2}{8c\,(3b - 2c)} \cdot g' \text{ und}$$

$$S = \frac{8b^3 + (c - 4b)\,c^2}{8h\,(3b - 2c)} \cdot g'$$

In jedem dieser 3 Fälle, wo Q′ oder P′ gegeben ist,

Digitized by Google

findet man leicht den verticalen Druck auf den Boden, wenn man $P = \sqrt{R^2 - S^2}$ berechnet.

Wird eine große Kette AHFECB Fig. 6, welche aus lauter gleich großen und schweren Gliedern AH, HG, GF u. s. w. besteht, an ihren beiden Enden A, B horizontal befestigt, übrigens sich selbst überlassen, so werden ihre Glieder, vermöge ihres Gewichtes, eine krumme Linie, Kettenlinie genannt, bilden. Dieses erhellet folgendermaßen. Das Gewicht eines Gliedes DC werde durch die lothrechte Linie IL vorgestellt. Man zerlegt diese Kraft in zwei Theile IK, ID, der eine Theil ID bestrebt sich, das vorhergehende Glied BC von der lothrechten Lage einwärts zu lenken, und kommt eben dadurch mit diesem Gliede ins Gleichgewicht. Der andere Theil IK bemüht sich, das Glied DC auswärts zu biegen; dieses kann aber nicht geschehen, ohne das folgende Glied DE nachzuziehen, uud es wirkt ihm daher die Kraft ME entgegen, welche aus der Zerlegung von MO in die Kraft ME, MN entstanden ist.

Hieraus erhellet, daß sich die Stellung der Glieder CD, DE so lange wechselseitig ändern wird, bis sich die entgegengesetzten Kräfte ME, IK einander das Gleichgewicht halten.

In der untersten Stelle der Kettenlinie muß sich ein wagerechtes Glied FE befinden, weil dieses auf beiden Seiten von zwei entgegengesetzten und gleichen Kräften MN, PR getrieben wird und daher keiner nachgeben kann.

Eytelwein giebt in seinem Handbuche der Statik fester Körper im 3ten Bande, außer einer vollständigen Theorie der Kettenlinie auch Tafeln und praktische Regeln zur Verzeichnung der Kettenlinie.

Von dem Hebel.

§. 9. Eine jede gerade, krumme, oder aus geraden Theilen zusammengesetzte und unbiegsame Linie, welche sich um einen fest unterstützten Punkt frei drehen kann, heißt ein Hebel. Ist die Linie gerade, so heißt er ein geradlinigter Hebel,

Digitized by Google

bilden die Arme des Hebels einen Winkel, dessen Scheitelpunkt der Drehpunkt ist, so erhält derselbe den Namen Winkelhebel oder gebrochener Hebel.

Wenn man die Linie ohne Schwere betrachtet, so heißt der Hebel ein mathematischer, im entgegengesetzten Falle ein materieller Hebel.

An dem Hebel sind 3 Punkte zu bemerken: 1) der Ruhe-, Dreh- oder Stützpunkt, auf welchem der Hebel unterstützt, oder beweglich befestigt ist; 2 und 3 die beiden Angriffspunkte, an welchen die bewegenden Kräfte wirken. Liegt der Stütz- oder Drehpunkt zwischen Kraft- und Lastpunkt, so nennt man den Hebel zweiarmig oder Hebel erster Art, liegt aber der Stützpunkt an einem Ende des Hebels, und Kraft- und Lastpunkt nach der andern Seite hin, so heißt der Hebel einarmig oder Hebel zweiter Art.

Der zweiarmige Hebel kann entweder geradlinig oder Winkelhebel seyn und seine Arme können lang oder ungleich lang seyn. Dabei wirken Kraft und Last entweder gleichlaufend oder in ungleich laufender Richtung, aber immer beide gegen die Richtung der Stützkraft. Der einarmige Hebel ist immer ungleicharmig; dabei wirkt Kraft und Last immer einander entgegen. Wenn normale Linien vom Drehpunkte des Hebels auf die Richtungen der Kräfte gezogen werden, so nennt man sie die Abstände oder Entfernungen der Richtungslinien vom Drehpunkte. Diese Entfernungen werden durch einerlei Längenmaßstab, und die Kräfte durch einerlei Gewichte gemessen und ausgedrückt. Das Product der Abstände oder Entfernungen der Richtungslinien vom Drehpunkte in die ihnen zugehörigen Kräfte, nennt man die statischen Momente des Hebels.

Die Geschwindigkeit ist der Raum, den die Kräfte gleichzeitig beschreiben. Es hat also der Körper eine größere Geschwindigkeit, der den größern Raum in gleichen Zeiten durchläuft. Die Producte der Kräfte in ihrer Geschwindigkeit werden die mechanischen Momente genannt.

Anmerkung. Die Beweise, welche Schmidt in seinen An-

Digitized by Google

fangsgründen der Mathematik 2ter Th., 1ste Abtheilung für das Gleichgewicht des Hebels angegeben hat, sind sehr einfach und faßlich, daher diese hier benutzt werden sollen. Um aber dieses zu können, muß folgender Lehrsatz, auf welchen Schmidt seine Theorie gründet, vorausgeschickt werden.

Eine gerade Linie AB, sey in zwei ungleiche Theile AD, DB Fig. 8 getheilt, jeder dieser Theile werde in E und F halbirt, so liegen die Punkte E und F von der Mitte C der ganzen Linie AB im umgekehrten Verhältniß der Theile DB, AD ab; denn es ist

$AC = CB = \frac{1}{2}AB = \frac{1}{2}(AD + DB) = \frac{1}{2}AD + \frac{1}{2}DB$. Nun ist $BF = \frac{1}{2}DB$; folglich $CF = CB - BF = \frac{1}{2}AD + \frac{1}{2}DB - \frac{1}{2}DB = \frac{1}{2}AD$, ferner $AE = \frac{1}{2}AD$; folglich $CE = AC - AE = (\frac{1}{2}AD + \frac{1}{2}DB) - \frac{1}{2}AD = \frac{1}{2}DB$. Also $CE : CF = \frac{1}{2}DB : \frac{1}{2}AD = DB : AD$.

§. 10. Zwei senkrecht wirkende Kräfte an dem Hebel der ersten Art sind mit einander im Gleichgewichte, wenn sie sich umgekehrt wie die Arme des Hebels, an denen sie wirken, oder wie ihre Entfernungen vom Drehpunkte verhalten.

Um diesen Satz zu beweisen, dient die Figur 8. Wäre der Hebel AB in seiner Mitte C unterstützt, und in gleichen Entfernungen auf beiden Seiten vom Unterstützungspunkte, mit zwei gleich großen Gewichten beschwert, so würde zwischen diesen beiden Gewichten ein Gleichgewicht stattfinden. Würde der Hebel statt in C in dem Punkte D unterstützt, so wird dadurch das Gleichgewicht nicht gestört, wenn das lothrecht wirkende Gewicht in B zu dem lothrecht wirkenden Gewichte in A sich wie DB : AD verhält. Man unterstütze den Hebel in der Mitte C, hänge in die Mitte von DB und AD, folglich in E und F die Gewichte P und Q, welche den Gewichten in A und B gleich sind, und lasse die in A und B angebrachten Gewichte nach oben entgegen wirken, so bleibt doch alles im Gleichgewichte; denn wenn statt der Unterstützung in C eine Kraft = S, gleich der Summe der aufwärts ziehenden Gewichte wirkt, so ist S mit dem Gewichte an AB, P mit der aufwärts ziehenden Kraft in B, Q mit der aufwärts ziehenden in A im Gleichgewichte. Da nun die aufwärts ziehenden Kräfte

Digitized by Google

einander aufheben, so muß auch die Kraft in C mit P und Q im Gleichgewichte seyn. Setzt man statt S die feste Unterstützung in C, so sind P und Q noch mit einander im Gleichgewichte. Es ist aber vermöge der Voraussetzung $P : Q = DB : AD$ und vermöge des oben stehenden Satzes $DB : AD = CE : EF$, folglich $P : Q = CE : CF$.

§. 11. An einem Hebel der zweiten Art sind zwei senkrecht wirkende Kräfte P und Q. Fig. 9 mit einander im Gleichgewichte, wenn sich die Kräfte umgekehrt wie die Entfernungen von dem Unterstützungspunkte verhalten.

Es sey $CA : CB = Q : P$.

Man verlängere den Hebel jenseit der Unterstützung nach D und mache $CD = CA$, hänge in D ein Gewicht $P' = P$, so ist P' mit Q im Gleichgewichte. An A lasse man ein Gewicht $P'' = P$ unterwärts ziehen, so ist dasselbe mit P im Gleichgewichte, folglich sind die 4 Kräfte P', P'', P, Q mit einander im Gleichgewichte, und da P' und P'' mit einander im Gleichgewichte sind, so müssen auch die Kräfte P und Q mit einander im Gleichgewichte seyn.

§. 12. Aus dem Vorhergehenden folgt, daß die Kräfte mit einander im Gleichgewichte sind, wenn ihre statischen Momente gleich sind. Aus §. 10 hat man

$Q : P = CF : CE$, folglich ist das Moment
$P. CF = Q. CE$. Aus §. 11:
$Q : P = CA : CB$, folglich ist das Moment
$Q. CB = P. CA$

Anmerk. In dem Verhältnisse, in welchem der eine Arm länger wird als der andere Arm, in demselben Verhältnisse wird auch die eine Kraft kleiner als die andere. Es kommt dabei also nicht auf die Länge der Arme an sich an, sondern auf das gegenseitige Verhältniß ihrer Längen.

§. 13. Wenn zwei Kräfte am Hebel sich umgekehrt wie die von den Angriffspunkten gleichzeitig beschriebenen Bogen bei der Drehung des Hebels um seinen Ruhepunkt verhalten, so erhalten sie sich einander im Gleichgewichte.

Digitized by Google

Drückt ein Uebergewicht den Hebel BAC Fig. 10 um A in einer ſchiefen Richtung BC, ſo beſchreibt P mit dem Halbmeſſer AB, den Bogen BB′, ſo wie Q mit dem Halbmeſſer AC den Bogen CC′ in einerlei Zeit. Da nun die Bogen ſich wie ihre Halbmeſſer verhalten, oder

AB : AC = BB′ : CC′ und im Zuſtande des Gleichgewichts AB : AC = Q : P, ſo iſt

Q : P = BB′ : CC′ oder, die Kräfte am Hebel verhalten ſich für den Zuſtand des Gleichgewichts umgekehrt, wie die Wege, welche ſie bei erfolgter Bewegung in gleichen Zeiten zurücklegen. Dieſen Satz ſtellte Descartes als einen allgemeinen Grundſatz der Mechanik auf.

Da nun die Bogen, welche die Kräfte in gleichen Zeiten beſchreiben, ihre Geſchwindigkeit beſtimmen, ſo werden bei drehender Bewegung um den Stützpunkt die Geſchwindigkeiten der Angriffspunkte in eben dem Verhältniſſe zu- und abnehmen, wie die Längen ihrer Arme.

Anmerk. Sollte man mittelſt eines Hebels mit halber Kraft eine Laſt durch Verdoppelung des Kraftarmes bewegen, ſo muß ſich die Kraft dann auch doppelt ſo geſchwind bewegen, als die Laſt. Daher kann man auch, um die Momente zu erhalten, die Geſchwindigkeit der Kraft oder Laſt mit dem zugehörigen Gewichte multipliciren.

Zur Erläuterung der vorſtehenden Theorie mögen folgende Beiſpiele für die Anwendung des Hebels dienen.

Soll eine Laſt von 1000 ℔ durch eine Kraft von 10 ℔ am Hebel erhalten werden, ſo findet man das Verhältniß der Hebelarme, wenn man die Laſt durch die Kraft dividirt, und den Hebelarmen das umgekehrte Verhältniß giebt.

$$\frac{1000}{10} = \frac{100}{1}$$

Mithin gebe man der Kraft die hundertfache Entfernung der Laſt.

Wenn das Verhältniß der Kräfte und ihre Angriffspunkte am Hebel gegeben wären, und man ſuchte den Ort der Unterſtützung, ſo darf man nur am Hebel der erſten Art, an welchem die Entfernung

Digitized by Google

der Angriffspunkte gleich der Summe der Hebelarme ist, die Entfernung oder die Länge des Hebels nach dem umgekehrten Verhältniß der Kräfte, vermittelst der Societätsrechnung eintheilen, um den Ort der Unterstützung zu finden. Wird die Länge des Hebels = a, die beiden Kräfte = p und q gesetzt, so hat man

$$p + q : a = p : \text{Ges.} = \frac{p\,a}{p+q}$$

$$p + q : a = q : \text{Ges.} = \frac{q\,a}{p+q}$$ der erste Ausdruck giebt die Entfernung der Unterstützung von q, der andere von p.

Am Hebel der andern Art, an welchem die Entfernung AB der Angriffspunkte der Kräfte P, Q, Fig. 9 dem Unterschiede der Hebelarme CB, CA gleich ist, hat man die Proportion

CB : CA = P : Q folglich auch
CB − CA : P − Q = CB : P = CA : Q
AB : P − Q = CB : P = P = CA : Q.

§. 14. Wenn an dem Hebel BAC Fig. 11 der Hebelarm AB, dessen Länge gleich α gesetzt wird, mit der Richtung der Kraft BP einen Winkel = a, und der Hebelarm AC, dessen Länge gleich b gesetzt wird, mit der Richtung der Kraft CQ einen Winkel = β macht, so ist für die Bedingung des Gleichgewichts zwischen P und Q

P. α Sin a = Q . b . Sin β

Man fälle aus dem Drehpunkte A normale Linien auf P und Q und messe die Richtungswinkel a und β. Es ist a ein stumpfer Winkel daher

$< DBA = (180 - a)$ und Sin $(180 - a)$ = Sin a.

Sind nun die Längen der Hebelarme α und b gegeben, so können die Abstände der Richtungen AD und AE durch folgenden Schluß gefunden werden

α : AD = 1 : Sin a, folglich
AD = α. Sin a, ferner
b : AE = 1 : Sin β, mithin
AE = b Sin β

Die statischen Momente sind also nach §. 12

AD. P = AE. Q hierin obige Werthe gesetzt, so entstehen die Producte:

Digitized by Google

$$P.\ a\ \mathrm{Sin}\ a = Q.\ b\ \mathrm{Sin}\ \beta$$

daher 1) $P = \frac{Q.\ b.\mathrm{Sin}\beta}{a.\ \mathrm{Sin}\ a}$

2) $Q = \frac{a.\mathrm{Sin}\ a.P}{b.\ \mathrm{Sin}\ \beta}$

3) $\mathrm{Sin}\ a = \frac{Q.b.\ \mathrm{Sin}\ \beta}{a.P}$

4) $\mathrm{Sin}\ \beta = \frac{a.\mathrm{Sin}\ a.P}{b.Q}$

Aus der obenstehenden Gleichung der statischen Momente entsteht auch die Proportion

$Q : P = AD : AE$ d. h. Kräfte, welche unter schiefen Winkeln auf den Hebel wirken, verhalten sich für den Zustand des Gleichgewichts umgekehrt, wie die Perpendikel von dem Unterstützungspunkte auf die Directionslinien der Kräfte. Die Perpendikel sind hier die Hebelarme.

Vom Schwerpunkte.

§. 15. Da die Schwerkraft aller Theilchen der Körper nach parallelen Richtungen gegen die Erde treibt, so läßt sich auch die Wirkung aller dieser auf verschiedene Punkte ausgeübten Kräfte als in einem Mittelpunkte der Kräfte vereinigt ansehen, in welchem der Körper allein unterstützt sich in allen Lagen in Ruhe erhält. Dieser Punkt heißt des Körpers Schwerpunkt.

Der Schwerpunkt eines Körpers liegt nicht immer im Körper selbst. So befindet sich der Schwerpunkt eines Ringes nicht in der Materie desselben, sondern in der Achse des ihn einschließenden Cylinders; und der Schwerpunkt eines hohlen Stabes oder einer Röhre liegt nicht in der Materie, aus welcher der Körper besteht, sondern irgendwo in seiner eingebildeten Achse. Jeder Körper hat indessen einen Schwerpunkt.

Digitized by Google

Die Eigenschaft des Schwerpunktes hat mehrere Schriftsteller veranlaßt, ihn Mittelpunkt der Lage, andere, ihn Mittelpunkt der mittleren Abstände zu nennen. Carnot bedient sich des letztern Ausdrucks in seiner Géometrie de Position, und sucht zu beweisen, „daß die Theorie dieses Punktes zur Geometrie gehöre, und daß es für die Erweiterung dieser Wissenschaft vortheilhaft seyn würde, in dieser Hinsicht die natürliche Folge der Begriffe wieder herzustellen."

Jede Linie durch den Schwerpunkt eines Körpers gezogen, heißt ein Durchmesser der Schwere, und eine Ebene durch selbige gelegt, eine Schwer-Ebene. Schneiden sich zwei Schwer-Ebenen, so ist ihre Durchschnittslinie ebenfalls ein Durchmesser der Schwere.

Der Schwerpunkt einer geraden Linie liegt in ihrer Mitte; denn die nach beiden Seiten gleich entfernt liegenden Punkte haben gegen jenen gleiche Momente.

§. 16. Die Bestimmung des Schwerpunktes an einem Körper gründet sich auf die Lehre des Hebels; denn alle an ihm wirkenden Kräfte sind im Gleichgewichte, wenn er in dem Schwerpunkte unterstützt wird. — Es sey z. B. der Hebel AB in A Fig. 8 unterstützt; die an demselben wirkenden Kräfte sind Q, P; man sucht das Moment ihres Schwerpunktes in C. Die Momente der einzelnen Kräfte sind

$$Q.\ AE,\ P.\ AF.$$

und vermöge des Gleichgewichts der Kraft für die Unterstützung in C hat man

$$P.\ CF = Q\ .\ CE$$

Es ist $AE = AC - CE$ und

$AF = AC + CF$, daher

$P\ .\ AF = P\ .\ AC + P\ .\ CF$ und

$Q\ .\ AE = Q\ .\ AC - Q\ .\ CE$, folglich

weil $+ P\ .\ CF$ und $- Q\ .\ CE$ als gleiche und entgegengesetzte Größen sich aufheben, ist $P\ .\ AF + Q\ .\ AE = P\ .\ AC + Q\ .\ AC = (P + Q)\ AC.$

Digitized by Google

Es ist demnach

$$AC = \frac{AE \cdot Q + P \cdot AF}{P + Q}$$ d. h. die Entfernung des Schwerpunktes vom Unterstützungspunkte findet man, wenn man die Summe der Momente der einzelnen Kräfte durch die Summe der Kräfte dividirt.

Wenn Kräfte jenseit des Unterstützungspunktes A, oder den Kräften P, Q entgegengesetzte diesseits sich befinden, welche den Hebel AB aufwärts drehen, so erhellet von selbst, daß die Momente dieser Kräfte, von den Momenten P, Q abgezogen werden müssen, um die Momente des Schwerpunktes zu finden. Jener aufgestellte Satz: daß das Moment des Schwerpunktes gleich ist der Summe der Momente der einzelnen Kräfte, gilt nicht blos für den Fall, wenn alle schweren Punkte sich in einer und derselben geraden Linie befinden, sondern auch dann, wenn zwei oder mehrere schwere Punkte sich um eine in der Ebene nach Belieben gezogene gerade Linie, wie um eine Achse, zu drehen streben.

§. 17 Wenn ein schwerer Körper in einem andern Punkte als seinem Schwerpunkte aufgehängt wird, so wird er nicht in Ruhe bleiben, wenn der Schwerpunkt nicht mit dem Aufhängepunkte in einer lothrechten Linie liegt; denn in allen andern Lagen ist die Kraft, welche das Gleichgewicht herstellen soll, der Mittelkraft aus den gleichlaufenden Kräften, welche wegen der Schwere auf die verschiedenen Theile des Körpers wirken, nicht gerade entgegengesetzt, und dann kann kein Gleichgewicht stattfinden.

Die Erfahrung lehrt, daß der Schwerpunkt eines Körpers in dem Punkte liegt, in welchem senkrechte Linien, welche durch die Unterstützungspunkte eines Körpers in mehreren Lagen, auf welchen er ruht, gezogen werden, einander schneiden. Um demnach den Schwerpunkt mechanisch zu finden, ist nichts weiter nöthig, als den Körper vermittelst zweier nach lothrechten Richtungen wirkenden Kräfte, nach

Digitized by Google

einander in zwei verschiedenen Punkten des Körpers angebrachten Kräfte, in zwei verschiedenen Lagen ins Gleichgewicht zu bringen. Der Durchschnitt der beiden gefundenen Richtungen ist der gesuchte Schwerpunkt. Ist die schwere Masse durch den Körper gleichförmig vertheilt, so fällt der Schwerpunkt mit dem Mittelpunkte der Größe zusammen; wenn die Masse ungleichförmig vertheilt ist, so fällt der Schwerpunkt dahin, wo sich die meiste Masse befindet.

Anmerk. Die allgemeine Aufgabe, von jedem Körper oder jeder Fläche den Schwerpunkt zu finden, gehört in die höhere Mathematik. Es genügt daher hier um so mehr mit der Auflösung einiger Fälle, da selbst die Kunstgriffe der höhern Rechenkunst bis jetzt nicht hinreichen, den Schwerpunkt bei ganz irregulairen Körpern theoretisch mit geometrischer Schärfe zu bestimmen. Den Schwerpunkt eines jeden Körpers durch eine Annäherung zur geometrischen Schärfe zu finden, darüber belehrt Prony's neue Architectura hydraulica, 1ster Theil, und Eytelwein's Statik fester Körper.

§. 18. Den Schwerpunkt des Flächeninhalts von einem Dreiecke ABC Fig. 12 findet man, wenn in demselben aus zwei Spitzen A, B, gerade Linien gezogen werden, welche die entgegengesetzten Seiten BC, AC halbiren. Es liegt der Schwerpunkt sowohl in der Ba als in der Ab, also in ihrem Durchschnittspunkte x, und die Geometrie giebt

$$Bx = \tfrac{2}{3}Ba,\ Ax = \tfrac{2}{3}Ab \text{ oder}$$
$$bx = \tfrac{1}{3}AB,\ ax = \tfrac{1}{3}Ba$$

Wäre nun ABCD Fig. 13 ein schweres Trapez und die Linie EF theilte die beiden Linien AD und BC, jede in zwei gleiche Theile, so ist selbige ein Durchmesser der Schwere. Verbindet man nun mittelst einer Linie gg' die Schwerpunkte der Dreiecke ABD und BDC mit einander, so ist auch diese Linie ein Durchmesser der Schwere, und der Durchschnittspunkt M beider Durchmesser ist der Schwerpunkt des Trapezes ABCD.

Ziehe man durch g und g' die Parallelen gh und g'h'

Digitized by Google

bis an EF, so verhält sich, vermöge der Aehnlichkeit der Dreiecke Mgh und Mg′h′

$$h' g' : gh = h' M : h M$$

Da nun vermöge der Construction $Eg = \frac{1}{4} EB$ und $Fg' = \frac{1}{4} FD$, so findet man, wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke, GEh und BEF, so wie auch Fgh′ und FDE, daß $Fh' = \frac{1}{4} EF$ ferner $g'h' = \frac{1}{4} ED$; $gh = \frac{1}{4} BF$.

Da nun die Theile sich wie die Ganzen verhalten, oder $\frac{1}{4} ED : \frac{1}{4} BF = AD : BC$, so erhält man

$$AD : BC = h' M : hM \text{ folglich auch}$$

$$(AD + BC) : BC = (h' M + hM) : hM$$

$$\text{also } (AD + BC) : BC = hh' : hM$$

Wird nun $AD = b$, $BC = B$, $EF = a$ gesetzt, so ist, weil $hh' = \frac{1}{4} EF = \frac{1}{4} a$

$$h M = \frac{\frac{1}{4} a B}{b + B}$$

Hieraus ergiebt sich nach gehöriger Reduction

$$EM = Eh + hM = \frac{a}{3} \frac{(b + 2B)}{(b + B)} \text{ und}$$

$$FM = FE - EM = a \frac{(B + 2b)}{3 (b + B.}$$

Man findet demnach den Schwerpunkt einer jeden geradlinigen Figur, wenn man sie in Dreiecke zerlegt, die Schwerpunkte der einzelnen Dreiecke durch gerade Linien verbindet, und ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt sucht, indem man die in den einzelnen Dreiecken wirkenden Gewichte den Größen der Dreiecke proportional setzt.

§. 19. Zur Bestimmung des Schwerpunktes von der Fläche eines Kreisausschnittes theile man den Bogen ABD Fig. 14 in zwei gleiche Theile, ziehe aus C einen Halbmesser auf D, so ist letzterer ein Durchmesser der Schwere; ferner ziehe man die Sehne AB mit ihr durch C, die Parallele A′B′. Denke man sich nun den Bogen ADB in eine Anzahl sehr kleiner, aber gleicher Theile, $qn = xy$ u. s. w. getheilt, und ihre Endpunkte mit C durch die Ra-

Digitized by Google

dien Cx, Cy, Cq, Cn verbunden, so läßt sich der Schwerpunkt von jedem dieser Dreiecke bestimmen, und es muß derselbe z. B. wie in q Cn im Halbmesser Co liegen und zwar in m; denn wenn eine der Seitenlinien eines Dreieckes in zwei gleiche Theile getheilt, und aus der Spitze der gegenüber liegenden Spitze eine Linie nach dem Theilungspunkte gezogen, und diese Linie in drei Theile getheilt wird, so liegt der Schwerpunkt im zweiten Theilungspunkte, von den Spitzen des Dreieckes an gerechnet. Fälle man die Perpendiculare mm′, qq′ u. s. w. auf A′B′, so ist von dem Dreiecke qCn, wenn die Linie A′B′ zur Momentenachse angenommen wird, das Moment desselben $\frac{qn \cdot oC}{2} \cdot mm'$. Weil aber $Cm = \frac{2}{3} oC$, so ist auch, wegen Aehnlichkeit der Dreiecke Cmm′ und Coo′, $mm' = \frac{2}{3} oo' = \frac{2}{3} qq'$, daher, wenn r statt oC und $\frac{2}{3} qq$ statt mm′ gesetzt wird, ist das Moment

$$qn. \frac{r}{2} \cdot \frac{2}{3} qq' = \frac{1}{3} qn \cdot r \cdot qq'$$

Wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke Cqq′ und qnp ist $r \cdot q' n' = qq' \cdot qn'$. Daher ist das Moment für das Dreieck qCn $= \frac{1}{3} r.^2 q' n'$.

Auf eine ähnliche Art werden die Momente sämmtlicher kleinen Dreiecke, woraus der Kreisausschnitt bestehet, gesucht und man wird finden, daß diese Summe $= \frac{1}{3} r.^2$ AB sey, folglich die Summe aller Momente dem Momente des Kreisausschnittes ADBC gleich. Der Flächeninhalt des Ausschnittes ist $= \frac{ADB.CD}{2}$; folglich ist, wenn M seinen Schwerpunkt bezeichnet, und man den Bogen ADB $= b$, die Sehne AB $= S$ und CD $= r$ setzt, das Moment des Kreisausschnittes $= \frac{br}{2} \cdot CM$ und $\frac{br}{2} CM = \frac{1}{3} r^2 S$ also $CM = \frac{2}{3} \frac{r.S}{b}$ d. h. wenn man $\frac{2}{3}$ des Halbmessers mit der Länge der Sehne multiplicirt und

das Product durch die Länge des Bogens dividirt, so erhält man die Entfernung des Schwerpunktes der Fläche eines Kreisausschnittes vom Mittelpunkte.

Aus jener Gleichung entsteht die Proportion

b : S = ⅔r : CM d. h. Es verhält sich der Bogen eines Ausschnitts zu seiner Sehne, wie ⅔ des Halbmessers zur Entfernung des Schwerpunktes vom Mittelpunkte.

§. 20. Der Schwerpunkt eines Prisma liegt in der Mitte der Linie, welche den Schwerpunkt der obern und untern Fläche verbindet. Auf diese Weise läßt sich der Schwerpunkt von allen prismatischen Figuren bestimmen.

Um den Schwerpunkt einer Pyramide oder eines Kegels zu erhalten, ziehe man von der Spitze nach dem Schwerpunkte der Grundfläche eine gerade Linie, theile sie in vier gleiche Theile und nehme drei von der Spitze an gerechnet. Es sey ABCD Fig. 15 eine dreiseitige Pyramide, deren Schwerpunkt p gesucht wird. Es sey G der Schwerpunkt der Grundfläche ABC und DG eine Linie von der Spitze nach dem Schwerpunkte der Grundfläche; innerhalb derselben muß der Schwerpunkt der Pyramide liegen, weil die Linie durch die Schwerpunkte aller ähnlichen Dreiecke geht, welche man parallel mit der Grundfläche zwischen derselben und der Spitze der Pyramide sich denken kann. Bezeichnet ferner F den Schwerpunkt einer der Seitenflächen der Pyramide, und man zieht von der gegenüberliegenden Ecke die gerade Linie AF, so muß auch in dieser der Schwerpunkt der Pyramide liegen; er wird also in dem Durchschnittspunkte p beider Linien liegen; denn DG und AF liegen in einer und derselben Ebene AGEFD. Man ziehe GF, so ist GF parallel mit AD und gleich ¼ AD. Aus der Aehnlichkeit der Dreiecke ADp, GEF folgt

AD : GF = Dp : pG

1 : ¼ = Dp : pG, daher

pG = ¼ Dp, aber nach der Construction

$BG = \frac{1}{4} Dg$, demnach ist auch
$Dp = \frac{3}{4} Dg$.

Dieser Satz läßt sich leicht auf vieleckige Pyramiden ausdehnen.

Der Schwerpunkt eines Kegels liegt also auch um $\frac{1}{4}$ seiner Höhe von der Grundfläche entfernt.

§. 21. Um den Schwerpunkt einer in allen ihren Theilen schweren Halbkugelfläche zu finden, erwäge man, daß, wenn man die Höhe der Halbkugel CD Fig. 16 in unzählig viele gleiche Theile sich getheilt denkt, nach der Geometrie alle zwischen zwei nächsten Parallelkreisen ab, a′b′ enthaltenen Zonen gleich groß, und als Cylinderflächen von der Höhe e f zu betrachten sind. Der Schwerpunkt jeder einzelnen Fläche liegt in der Mitte der Höhe e f, und der Schwerpunkt aller in der Mitte von CD. Man hat daher für die halbe Kugelfläche $Cg' = \frac{1}{2} R$.

Um den Schwerpunkt der Halbkugel selbst zu finden, denke man sich dieselbe aus einer unzähligen Menge von Kegeln Cxy zusammengesetzt, deren Schwerpunkte alle um $\frac{3}{4} R$ von C abstehen. Denkt man sich daher mit dem Halbmesser $r = \frac{3}{4} R$ eine concentrische Halbkugelfläche beschrieben, so kann man sich die ganze Schwere der Halbkugel in dem Umfange der einen Halbkugeloberfläche vereinigt denken, und deren Schwerpunkt g″ ist zugleich der Schwerpunkt der Halbkugel. Es ist aber $Cg'' = \frac{1}{2} r = \frac{1}{2} . \frac{3}{4} R = \frac{3}{8} R$. Die Entfernung des Schwerpunktes einer halben Kugel ist demnach $\frac{3}{8}$ des verticalen Halbmessers von ihrem Mittelpunkte entfernt.

§. 22. Auf die Lage des Schwerpunktes gegen die Unterstützung kommt es bei dem mehr oder minder festen Stand der Körper an. Wenn ein Körper auf einer Ebene steht, und eine lothrechte Linie durch seinen Schwerpunkt in die Grundfläche fällt, in welcher der Körper die Ebene berührt, so wird jener nicht umfallen; aber wenn die lothrechte Linie nicht die Grundfläche schneidet, so wird der Körper umstürzen, wenn er nicht durch eine Stütze oder

Digitized by Google

auch ein Seil daran verhindert wird. — Wenn die lothrechte Linie auf die Gränze der Grundfläche trifft, so kann der Körper stehen, aber das Gleichgewicht kann durch die kleinste Kraft aufgehoben werden, und je näher bei einer Kante der Grundfläche diese von jener lothrechten Linie geschnitten wird, um so leichter kann der Körper umgestürzt werden; je näher dagegen der Durchschnitt der lothrechten Linie mit der Grundfläche der Mitte der letztern kommt, folglich je größer die unterstützende Fläche, und je weniger der Schwerpunkt über derselben erhaben ist, um so fester steht der Körper.

Es steht daher derselbe Körper auf der breiten Grundfläche fester, als auf der schmalen. ABED Fig. 17 sey der senkrechte Durchschnitt eines Parallelepipedums durch seinen Schwerpunkt C; es stehe der Körper zuerst auf seiner schmalen Seite DE; eine Kraft K strebt ihn nach der horizontalen Richtung AB umzustürzen, so verhält sich für den Zustand des Gleichgewichts die Kraft $=$ K zu dem Gewichte des Körpers $=$ G, wie FE : BE, welches hier die Hebelarme sind, und sobald der Körper um den Winkel AEB $=$ FCE gedrehet ist, so schlägt er bei dem mindesten Stoß von selbst um. Es erhellet hieraus, daß, wenn BE $>$ EF, so darf auch K $<$ G seyn; demnach wird das Parallelepipedum, auf die schmale Seite gelegt, von einer geringern Kraft umgeworfen, als wenn es wie ABDE auf der breiten Seite DE liegt; denn hier wirkt das Gewicht an dem längern Hebelarme FE und die Kraft bei B an dem kürzeren BE. Auch muß hier der Körper um einen viel größeren Winkel CEB herumgedreht werden, ehe er umschlagen kann.

Wirkt die Kraft in schiefer Richtung bei B Fig. 18, so verlängere man die Direction der Kraft und ziehe die Linie EG aus dem Punkte E lothrecht darauf, so ist EG der zu K und EF der zu G gehörige Hebelarm. Für das Gleichgewicht ist: K . EG $=$ G . EF und K : g $=$ EF : EG.

Es ist hier klar, daß EG mit der mehr oder weniger

Digitized by Google

schiefen Lage der Richtungslinie BG kürzer oder länger werden muß. Es findet dieser Satz vorzüglich bei Betrachtung des Schubs eines Gesparres seine Anwendung.

Ist der Durchschnitt eines Körpers ein Dreieck ABE Fig. 19, so ist der Schwerpunkt desselben C. Es möge die Kraft in wagerechter Richtung AG oder wagerecht gegen eine schiefe Linie AE wirken, so erhält man auch hier für das Gleichgewicht

$$K : G = EF : EG.$$

Verdoppeln wir das Prisma oder dessen Durchschnitt durch AG, GE, so ist das Gewicht desselben auch verdoppelt, aber sein Widerstand gegen einen Druck CAG ist nur dann doppelt so groß, wenn ABE ein gleichschenkliges Dreieck MBE wird, dessen Schwerpunkt in dieselbe lothrechte Ebene fiele, also FE gleich groß gäbe; näherte sich die Spitze M dem Punkte A, so würde FE größer; wenn ABE ein rechter Winkel, so ist $EF = \frac{2}{3}BE$; für das Prisma, und für ABEG nur $\frac{1}{3}BE$. Tritt die Spitze M näher gegen G, so ist der Widerstand des Prisma's weniger, als die Hälfte von AGEB, weil FE kleiner wird, und bei dem Dreiecke BEG ist FE nur $\frac{1}{3}BE$, für das Parallelogramm aber $\frac{1}{2}FE$.

Hierauf beruht die Stabilität oder Standfestigkeit einer Mauer gegen einen Seitendruck. Die Dicke einer Mauer muß sich so zu ihrer Höhe verhalten, daß auch bei kleinen partiellen Senkungen des Fundaments, die in der Ausübung nicht ganz vermieden werden können, der Schwerpunkt nie außerhalb der Grundfläche fallen kann. Daher werden hohe Mauern unten dicker als oben gemacht, oder mit Strebepfeilern oder mit Fußbänken versehen, nicht nur um ihre Grundfläche zu vergrößern, sondern auch um den Schwerpunkt tiefer zu bringen.

Digitized by Google

Von der Anwendung des Hebels.

§. 23. Brech = und Hebestangen, welche dazu dienen, mit einer geringen Kraft große Lasten zu wältigen, werden bald als Hebel der ersten Art Fig. 20, und bald als Hebel der andern Art Fig. 21 gebraucht. In jenem Falle kommt das Gewicht des Hebels P in seinen Schwerpunkte der Kraft v zur Hülfe und man hat für den Zustand des Gleichgewichts CG. P + CB. v = AC. Q.

Im letztern Falle wirkt das Gewicht des Hebels der Kraft v entgegen und man hat
CA. Q + CG. P = CB. v oder BC. v — CG. P = AC. Q d. i. ein Theil der Kraft v wird auf die Erhaltung des Gewichtes vom Hebel verwendet.

Da eine große Last vermittelst des einfachen Hebels nur um eine kleine Entfernung fortgebracht werden kann, während dessen die Kraft schon einen beträchtlichen Weg zurückgelegt hat, indem der Weg der Kraft sich zum Wege der Last umgekehrt wie die Last zur Kraft verhält, so dient die bekannte Hebelade, durch Veränderung der Unterstützung des Hebels die Last weiter fortzuschaffen. In Leupold's theatrum machinarum findet man eine Abbildung dieses Werkzeuges.

§. 24. Ein gebrochener oder zusammengesetzter Hebel Fig. 22 besteht aus mehreren mit einander verbundenen Hebebäumen, so daß der Angriffspunkt der Last des einen als Kraft am andern wirkt. Wäre das Verhältniß der Hebelarme eines jeden Theiles = 1 : 4, so hätte man für den Zustand des Gleichgewichts das Verhältniß von Kraft zur Last, oder

$$P : Q = \begin{cases} 1 : 4 = 1^3 : 4^3 = 1 : 64 \\ 1 : 4 \\ 1 : 4 \end{cases}$$

die dreifache Länge des einfachen Hebels gäbe das Verhältniß von Kraft zur Last, nur wie 1 : 12.

Digitized by Google

Vermittelst des Hebels läßt sich jede gegebene Last mit jeder gegebenen Kraft ins Gleichgewicht bringen und durch eine kleine Vermehrung der Kraft bewegen. Schon Archimedes sagte, er wolle die Erde in die Höhe heben, wenn man ihm einen festen Punkt im Firmament gäbe.

Anmerk. Ehe die statischen Lehrsätze der übrigen einfachen Maschinen, nämlich der beweglichen Rolle, des Flaschenzuges, der schiefen Fläche, des Keils und des Rades an der Welle betrachtet werden, sollen zuvörderst Lehrsätze von dem Widerstande fester Körper überhaupt vorgetragen, so wie auch die bei Maschinen sich vorfindenden Hindernisse der Bewegung dargestellt werden.

Vom Widerstande der festen Körper.

§. 25. Der Widerstand, oder die Kraft, welche die Körper haben, nicht zu zerbrechen, ist die Wirkung der Verbindung ihrer Theile oder ihrer Cohärenz. Die Cohärenz oder Cohäsion ist diejenige Kraft der Körper, vermöge deren sie der Zertrennung ihrer Theile widerstehen. Die Bestandtheile eines Körpers, die Art ihrer Verbindung und die Gestalt beider, bestimmen und modificiren daher das Maaß des Widerstandes gegen die Zertrennung. So beruht die Stärke des Holzes auf der Erhaltung der Lage der Holzfasern, auf ihrem Verhältnisse gegen einander, auf ihrer Figur und auf ihrer Anzahl.

Je mehr die Körper einer starken auf sie einwirkenden Kraft zu widerstehen vermögen, desto fester werden sie genannt. Man unterscheidet drei verschiedene Arten von Festigkeiten, nämlich absolute, relative und rückwirkende Festigkeit. Absolute Festigkeit wird diejenige Kraft genannt, vermöge welcher ein Körper widersteht, daß er nicht zerreißt, wenn er nach der Länge seiner Fibern gezogen wird. Wird ein homogener Körper von cylindrischer oder parallelepipedischer Form an einer von seinen beiden Grundflächen dergestalt senkrecht aufgehängt, daß

Digitized by Google

ſeine Achſe vertical und die Grundfläche, woran er hängt, horizontal iſt, und er durch ſeine eigene oder eine andere Laſt ſo ſtark niedergezogen wird, daß er zerreißt, ſo zerreißt er allemal oben, wo er aufgehangen iſt. Iſt der Körper aber nicht homogen und auch nicht aus gleich feſt zuſammenhängenden Theilen zuſammengeſetzt, ſo wird er da zerreißen, wo der wenigſte Zuſammenhang iſt. Die Laſt oder das angehängte Gewicht, welches zum Zerreißen erfordert wird, iſt nebſt dem Gewichte des abgeriſſenen Stücks das Maaß der abſoluten Feſtigkeit und kann in Pfunden ausgedrückt werden. Wenn man gleich nicht von der Feſtigkeit kleiner Stücken Holz auf die von größern Stücken und Balken richtig ſchließen kann, weil 1) die kleineren Stücke in Anſehung der Richtung, Figur und Anzahl der Holzlagen nicht eben ſo zuſammengeſetzt ſind, als der ganze Stamm ſelbſt, 2) junges Holz lange nicht ſo ſtark iſt, als völlig ausgewachſenes, und weil 3) die abſolute Feſtigkeit des Holzes am größten iſt, wenn es vom Kerne, etwas geringer, wenn es zwiſchen Kern und Splint, und beinahe um die Hälfte kleiner, wenn es von dem letzteren iſt, ſo ſind doch die von mehreren Gelehrten, von der Zeit Galilei's an bis auf die heutige, angeſtellten Verſuche über die Feſtigkeit überhaupt ſehr lehrreich, und für die Praktik ſehr wichtig.

Schon Mariotte zu Ende des 17ten Jahrhunderts fing damit an; ihm folgten Parent, Leibnitz, Varignon, Muſchenbröck, Buffon, Euler, Bizot, Belidor und Perronet. In den neueſten Zeiten haben Aubry, Rondelet, Girard, Migneron und unter den Deutſchen Eytelwein in Berlin, die lehrreichſten Experimente der Art gemacht. Die meiſten Verſuche betrafen die abſolute Feſtigkeit, viele die relative, die rückwirkende weniger. Die von den neuern Gelehrten gewonnenen Reſultate verdienen um ſo mehr Zutrauen, da ſie die Erfahrungen der ältern mit den ihrigen verglichen und, ſo weit es für die Sicherheit der Praktik erforderlich ſeyn mag, übereinſtimmend gefunden haben.

Digitized by Google

Nach den angestellten Versuchen der absoluten Festigkeit zerreißen Stäbe von einem Quadratzoll rheinl. Maaß im Querschnitt bei folgender Belastung:

	Berliner Pfunde.		Berliner Pfunde.
1) Kiefern- oder Föhrenholz.	18,000	8) Erlenholz.	24,740
		9) Hänfene Seile.	9,000
2) Sommereichen.	21,100	10) Gegossenes Eisen.	70,433
3) Wintereichen.	22,120	11) Geschmiedetes Eisen.	71,300
4) Rothtannen oder Fichten.	10,920	12) Schlesisches Schmiedeeisen.	78,140
5) Weißtannen.	15,460	13) Dasselbe nach Muschenbröck.	76,243
6) Buchen.	22,320	14) Dasselbe nach Perronet.	67,073
7) Hainbuchen.	20,400		

§. 26. Von dem Widerstande der Seile bemerke ich, daß solcher desto stärker ist, je dicker die Seile gemacht werden. Bei gleicher Güte des Materials verhält sich demnach die Stärke der Seile, wie die Zahl der gleich dicken Fäden, aus welchen sie bestehen, oder wie ihre Durchmesser. Außer der Dicke hängt die Stärke der Seile 1) von der Beschaffenheit des Materials, woraus sie gemacht sind, und 2) von der Geschicklichkeit, mit der sie angefertigt worden sind, ab. Je feiner die Fäden in ihrem natürlichen Stande sind, desto größer ist die Stärke derselben, d. h. je feiner der Hanf dazu gehechelt wird, desto stärker sind die Seile oder Taue; je länger die Faden des Hanfes beim Hecheln bleiben, desto haltbarer sind sie. Die seidenen Faden sind die feinsten von allen, die wir kennen. Es gehören 27 seidene Faden dazu, um einen Faden zu bereiten, welcher der Stärke eines Menschenhaares gleicht, hingegen nur 16 vom Spinnegewebe. Zwei und dreißig flächsene Faden sind erst so dick als ein Pferdehaar, und von Menschenhaaren

Digitized by Google

gebraucht man nur 7 zur Dicke eines Pferdehaares. Um einen so dicken Faden, als ein Pferdehaar ist, zu zerreißen, werden nach Muschenbröck erforderlich

zu einem Faden von Seide	33,915	Gran
= = = = Spinngewebe	15,800	=
= = = = Flachs	11,700	=
= = Menschenhaar	9,635	=
= = Pferdehaar	7,970	=

Die vortheilhafteste Art, sich der Faden zu bedienen, und die stärksten Seile daraus zu machen, ist keinesweges das Drehen oder Winden, wie man gemeiniglich glaubt. Vielmehr vermindert das Winden den Zusammenhang der Seile. Daher nimmt der Zusammenhang dicker Seile, welche aus mehreren Stricken bestehen, nicht genau im Verhältniß ihrer Dicke zu. Das Drehen der Seile ist jedoch unumgänglich nothwendig, nicht nur um sie zum Gebrauch tüchtig, sondern auch um sie stärker zu machen, weil kein einziger Faden in seiner ganzen Länge durchaus gleich stark, sondern an einigen Stellen schwächer, an andern desto stärker ist; durch die Verbindung mittelst des Drehens kommen aber die schwachen Stellen des einen und die starken des andern zusammen. Weil aber ein starkes Zusammendrehen die Taue schwächt, so muß ein starker Strick auf die entgegengesetzte Seite gedreht seyn, als die Litzen, aus welchen er besteht, wodurch die letztern wieder nachgeben oder lockerer werden. Wie die Seile gewunden werden müssen, darüber giebt du Hamel du Monceau (man sehe dessen Art de la corderie) einige Vorschläge. Die vom Geh. R. Mögling erfundenen Seile aus parallel angedrehten Fäden verfertigen die Gebrüder Landauer in Stuttgart (S. Münchner Kunst- und Gewerbsblatt No. 34, 1819). John Curr aus Sheffield erfand eine Maschine zur Verfertigung glatter Seile und erhielt 1798 ein Patent auf solche.

Muschenbröck machte den Vorschlag, die Seile, statt auf die gewöhnliche Art zu winden, aus den einzelnen Stricken, wie Zöpfe, zusammen zu flechten, weil er glaubte, daß ge-

Digitized by Google

webte Seile nicht ausführbar, oder wenigstens für die Ausübung nicht brauchbar seyen. Indessen sprechen neuere Erfahrungen für den Gebrauch der gewebten Seile. (Man sehe: Ueber die Stärke rund gewobener Seile, wie sie nach Muschenbröckischen Grundsätzen auf dem Bülhof bei Calw im Würtembergischen verfertigt werden, von W. G. Rappolt, Tübingen 1796. — Ueber glatte Seile für Bergwerke s. Annal. des arts et manuf. (allgem. Literaturzeitung 1801. No. 237.)

Für die Anwendung der Seile dienen annoch folgende Bemerkungen:

1) Getheerte Seile sind nicht so stark oder haltbar als ungetheerte, aber in der Feuchtigkeit dauerhafter; der warme Theer kann einzelne Fibern verbrennen. Der Theer vermehrt auch im Trocknen die Reibung und erhitzt die Scheibenbahn. Nach William Chapman aus Newcastle muß man den Theer vor der Anwendung wiederholt mit Wasser kochen und umrühren, wodurch ihm der schädliche Schleim und die eben so schädliche Säure benommen wird.

2) Trockne Seile sind stärker als feuchte.

3) Ein um einen runden Körper gebogenes Seil behält die Stärke nicht, die es in gerader Spannung hat.

4) Seile aus Hanf sind stärker als aus Flachs, dessen Fibern kürzer sind; auch sind sie dauerhafter. — (Der beste Hanf kommt aus Riga, ihm folgt der flandrische, dann folgt der italienische, hierauf der französische). — Zu starkes Rösten macht die Hanffasern schwach, zu schwaches aber rauh und unbiegsam.

§. 27. Ueber den absoluten Widerstand der festen Körper überhaupt ist Folgendes zu bemerken. Der Widerstand eines Körpers, es sey eines Cylinders oder eines Parallelepipedums, wird nach Proportion der vergrößerten Grundfläche vermehrt, aber die Last vermehrt sich auch in eben diesem Verhältnisse. Vermehrt man dagegen die Länge,

Digitized by Google

ohne die Grundfläche zu vergrößern, so vermehrt man zwar ebenfalls das Gewicht, aber nicht den Widerstand, folglich macht ihn die Länge schwächer.

Bei zwei gleichen Körpern von gleicher Masse und Eigenschaft, aber von verschiedener Dicke, verhält sich ihre absolute Resistenz, wie ihre Dicke; und weil sich die Dicke oder der Inhalt der Cylinder und Parallelepipeden verhält, wie das Quadrat ihrer Grundflächen, so wird sich ihr Widerstand verhalten, wie das Quadrat ihrer Durchmesser.

Um die Länge eines cylindrischen Körpers zu finden, die er, wenn er vertical aufgehangen wird, haben muß, um zu zerreißen, nehme man einen Cylinder von gleicher Materie, und hänge die größte Last daran, die er tragen kann, ohne zu zerreißen; dann kann man daraus entnehmen, wie viel er verlängert werden muß, um von einer gegebenen Last zu zerreißen.

Es sey die gegebene Last = P, die des Cylinders = C, seine Länge = L, die größte Last, die er tragen kann, = p, und die gesuchte Länge = x, so hat man

$$p + \frac{Cx}{L} = P \text{ folglich } x = \frac{Lp - LP}{C}$$

Ist die Last, welche ein Körper von bestimmter Materie und von bestimmter regulairer und gleichförmiger Gestalt tragen soll, gegeben, so findet man die geringste Dicke, welche er haben muß, um die bestimmte Last eben tragen zu können, auf folgende Weise. Bezeichnet

L die Länge des Körpers,
D die Dicke desselben,
S seine Schwere bei der gegebenen Länge,
G das gegebene Gewicht, das er tragen soll,
x die verlangte Dicke

so ist

$$L : D = S + G : x \text{ folglich}$$
$$x = \frac{DS + DG}{L}$$

Digitized by Google

Diese Theorie ist in der Ausübung von großem Nutzen, damit man die Körper, die eine Last tragen sollen, weder schwach mache, und dadurch den Bau verderbe, noch zu stark und dadurch unnöthige Kosten und Beschwerden verursache.

§. 28. Kennt man die durch Erfahrung bestätigte absolute Festigkeit eines Körpers, wie solche z. B. die oben angeführte Tabelle angiebt, so findet man die Festigkeit eines andern Körpers von einerlei Materie auf folgende Weise. Bezeichnet

F eine der obigen Verhältnißzahlen, f die gesuchte Festigkeit eines andern Körpers, B die Bruchfläche des Körpers von einem Quadratzoll, b die des andern Körpers, so ist

$$F : f = B : b \text{ und } f = \frac{Fb}{B}$$ Da aber $B = 1$ ist, so hat man

$$f = F\,b$$

In den Aufgaben der angewandten Mathematik von Eytelwein S. 34 ist das Gewicht f um eine eiserne Kette zu zerreißen, wenn d den Durchmesser der Glieder bezeichnet.

$$f = \tfrac{1}{2}\,\pi \,.\, d^{\,2}.\, F.$$

§. 29. Relative Festigkeit wird der Widerstand genannt, welchen ein Körper wider eine Gewalt ausübt, die perpendiculär auf seine der Länge nach fortlaufenden Fibern wirkt, um sie zu zerbrechen, so wie wenn ein Balken horizontal in eine Mauer gesteckt und am andern Ende eine Last angehängt wird, und diese perpendiculär ihre Kraft anwendet, um ihn zu zerbrechen. Ein homogener cylindrischer Körper, welcher mit dem einen Ende horizontal in eine Mauer gesteckt ist, bricht durch die Gewalt seiner eigenen Schwere; der Bruch wird aber nahe an der Mauer geschehen. Bei diesem Bruche wirken zweierlei Kräfte, nämlich die Schwere des Körpers, welche durch seine eigene Last entsteht, und der Widerstand, der von der Breite der

Digitized by Google

Grundfläche des Körpers herrührt. Dieser Widerstand wird durch die Schwere überwunden, und gleichwie die Schwerpunkte die Punkte sind, darin sich alle Kräfte, die von der Schwere aller Theile des ganzen Körpers herrühren, vereinigen, so kann man sich die Schwere des ganzen Cylinders in dem Schwerpunkte seiner Masse, d. i. in einem Punkte mitten in seiner Achse denken, und den Widerstand kann man sich im Schwerpunkte der Grundfläche concentrirt vorstellen.

Bricht der Cylinder durch seine eigene Last, so geschieht die ganze Bewegung an dem unbeweglichen äußern Theile des Durchmessers der Grundfläche. Dieser äußere Theil ist also der Ruhepunkt des Hebels; die beiden Arme sind der Halbmesser der Grundfläche und die halbe Achse, folglich wirken die beiden entgegengesetzten Kräfte nicht nur durch ihre absolute Gewalt, sondern auch durch ihre relative Gewalt, die von der Entfernung herrührt, in der sie sich vom Ruhepunkte des Hebels befinden, d. i. von der Länge und Dicke des Cylinders. Um einen Körper, der vertical aufgehangen ist, zu zerbrechen, bedarf es einer größern Länge, als um denselben in einer horizontalen Lage zu brechen; denn im letztern Falle verursacht seine Länge den Bruch aus einer doppelten Ursache, theils weil sie die Last vermehrt, theils weil sie einen Arm des Hebels ausmacht, an welchem die Last angebracht ist.

Wenn bei einem horizontal hängenden Körper nur der Zusatz des geringsten Gewichts macht, daß er bricht, so steht die Last und der Widerstand im Gleichgewicht. Daher verhalten sich diese beiden entgegengesetzten Kräfte, wie die beiden Arme des Hebels, an welchem sie angebracht sind.

§. 30. Bisher sind die Körper betrachtet worden, insofern sie durch ihre eigene Schwere zerbrechen. Wie aber die Körper von einem am Ende angehangenen fremden Gewichte zerbrochen werden, wenn man sie sich ohne ihre eigene Last denkt, soll nun näher untersucht werden. — In diesem Falle ist zu bemerken, daß das fremde Gewicht ver-

Digitized by Google

mittelst eines Hebelarmes wirkt, welcher der Länge des ganzen Körpers gleich ist: anstatt daß seine eigene Schwere nur vermittelst eines Hebelarmes wirkt, welcher der Entfernung zwischen dem Schwerpunkte und der Achse des Gleichgewichts gleich ist.

Das Moment des relativen Gewichtes P eines Körpers AB Fig. 23 ist demnach

$$P \,.\, AB$$

und das Moment des Gewichtes p von AB selbst

$$= p \,.\, AC.$$

Wenn das Moment eines Gewichts G dem Momente des Gewichts p von AB selbst gleich wäre, oder

$$G \,.\, AB = p.AC \text{ folglich } G = \frac{p.AC}{AB.}$$

so wird das Gewicht G in B eben so viel wirken, als das Gewicht p in C. Denkt man sich nun den Körper AB ohne Schwere und dafür ein Gewicht G zu P gelegt, so erhält man die Größe der relativen Festigkeit.

Der relative Widerstand ist die Hälfte des absoluten Widerstandes. Wenn also 100 Pfund erfordert werden, um einen vertical hängenden Körper zu zerbrechen, so gehören nur 50 dazu, um dieses in einer horizontalen Lage zu thun.

Muschenbröck hat aber bei verschiedenen Hölzern gefunden, daß das Verhältniß des absoluten Widerstandes zum relativen nicht mit der Theorie übereinstimmt. Es kann keine allgemeine feste Regel in der Natur gegeben werden, nach welcher ein beständiges Verhältniß zwischen den beiden Arten des Widerstandes zu bestimmen ist.

Um aber aus der beobachteten relativen Festigkeit die absolute Festigkeit zu bestimmen, kann man ADB Fig. 23 als einen in D befestigten Winkelhebel betrachten, an welchem die absolute Festigkeit und die Kraft P einander entgegenwirken. Wird AB durch die Kraft P bei A zerbrochen, so wird die Trennung der Theile in dem Punkte A anfangen, und sich nach D hinstrecken. Bezeichnet C

Digitized by Google

die absolute Festigkeit, so ist für den Zustand des Gleichgewichts

$$C.\tfrac{1}{2}AD = P.AB \text{ folglich}$$

$$C = \frac{2\,P.AB}{AD}$$

§. 31. Der Widerstand eines festen Körpers, der in der Mitte auf einem Ruhepunkte liegt, ist dem Quadrate von $\frac{1}{2}$ seiner Höhe, multiplicirt durch seine Breite, gleich. Ein solcher Körper bricht durch seine eigene Schwere im Ruhepunkte, indem er auf der obersten Seite einen Bogen macht.

Ein fester Körper, der horizontal auf beiden Enden auf Unterlagen liegt, wird sich gleichfalls durch seine eigene oder eine fremde Last in der Mitte zerbrechen lassen, aber der Bruch geschieht gerade umgekehrt, wie im vorigen Fall, nämlich der Bogen entsteht auf der untersten Seite.

Ein fester auf beiden Enden aufliegender Körper, der durch seine eigene oder eine fremde Last zerbrechen soll, kann doppelt so lang seyn, als einer, der nur mit einem Ende in der Mauer befestigt ist. Also ist der Widerstand eines horizontal an beiden Enden aufliegenden Körpers vierfach stärker, als der von eben diesem Körper, der horizontal mit einem Ende in der Mauer steckt.

Wäre ein Balken in der Mitte unterstützt Fig. 24, und würde durch zwei gleiche Kräfte Q an beiden Enden gebrochen, so würde sich jede der brechenden Kräfte Q zu der brechenden Kraft P Fig. 23 verhalten, wie AB : CB, d. i. bei übrigens gleichen Umständen $Q = 2P$ seyn. Die Unterstützung C hält hierbei einen Druck $= 2Q = 4P$ aus. Hieraus folgt, daß ein Balken Fig. 25, an beiden Enden unterstützt, in der Mitte eine Last S tragen kann, welche $= 2Q = 4P$ der vierfachen relativen Cohäsion am Ende gleich ist. Sucht man, wie groß eine Last S′ ist, welche der Balken AB Fig. 25, an beiden Enden unterstützt, in irgend einem Punkte D außer der Mitte tragen kann,

Digitized by Google

so hat man allgemein nach der von Schmidt (Anfangsgründe der Mathematik, 2ter Th. 1ste Abth. S. 70) darüber gegebenen Theorie:

$$BD \cdot AD : BC^2 = S : S' \text{ oder}$$

$$S' = \frac{BC^2}{AD \cdot BD} \cdot S = \frac{BC^2}{AD \cdot BD} \cdot 2Q = \frac{BC^2}{AD \cdot BD} \cdot 4P$$

Diese Gleichung dient dazu, die Stärke horizontaler, an ihren Enden unterstützter Balken in jeder Stelle aus der relativen Cohäsion P zu finden.

§. 32. Zwei solide Körper, bei denen die drei Maße, Länge, Breite und Höhe, insgesammt verschieden sind, leisten einen Widerstand wie das Product der Quadrate ihrer respectiven Höhen, vermehrt durch die Breiten, und dividirt durch die Längen. Bezeichnet man

die relative Festigkeit beider Körper durch P und p
die absolute = = = = C = c
die Breite der balkenförmigen Körper durch B = b
die Höhen derselben = H = h
und die Längen = L = l

so verhält sich

(A) $c : C = bh : BH$, weil die Erfahrung lehrt, daß der absolute Widerstand bei denselben Körpern in dem directen Verhältnisse ihres Querschnittes steht, d. h. mit der Menge der zu zerreißenden Theile wächst und abnimmt.

Nach §. 30 ist

$$P = \tfrac{1}{2}\frac{HC}{L},\ p = \frac{\frac{1}{2}hc}{l} \text{ oder}$$

$$P : p = \frac{HC}{l} : \frac{hc}{L}, \text{ wird nun das Verhältniß aus}$$

(A) für c : C substituirt, so erhält man

$$P : p = \frac{H^2B}{L} : \frac{h^2b}{l}$$

Wenn also ein solider Körper A 6 Zoll hoch, 4 Zoll breit und 48 Zoll lang ist, ein fester Körper B aber 8 Zoll hoch, 3 breit, 96 lang ist, so entsteht das Verhältniß

Digitized by Google

$$A : B = \frac{6 \times 6 \times 4}{4} : \frac{8 \times 8 \times 3}{96} = \frac{144}{48} : \frac{192}{96} = 3 : 2.$$

Hieraus folgt, daß sich bei gleichen Längen und Breiten die relative Festigkeit zweier Balken von gleicher Materie, wie die Quadrate ihrer Höhen, bei gleichen Höhen und Längen, wie die Breiten; bei gleichen Breiten und Höhen umgekehrt wie die Längen, und bei gleichen Längen, wie die Quadrate der Höhen durch die Breite multiplicirt verhalten.

Nehmen wir demnach einen Balken, dessen Höhe $= 2b$ ist, so ist der Ausdruck seiner Festigkeit ($L = l$ vorausgesetzt) $= 4b,^2$ bei $b = h$ wäre er $= b^2$. Macht man also einen Balken doppelt so hoch als breit, so wird seine Tragekraft viermal so groß, als wenn er bei dieser Breite eben so hoch wäre; sie wächst wie die Quadrate der Balkenhöhen bei gleichen Längen und Breiten.

Hieraus erhellet, wie viel auf die Lage eines Balkens ankommt, wenn man die beiden Maaße wie 1 und 3 annimmt. Legt man ihn so, daß die Höhe 1 ist, so ist die Tragkraft nur 3, legt man ihn hingegen so, daß die Tragkraft 3 ist, so wird die Tragkraft 9. Es ist also am vortheilhaftesten, die Balken auf die schmale Seite zu legen. Wäre es bekannt, daß ein Querschnitt b^2 bei einer gewissen Länge Tragkraft genug hätte, und man wollte ihm dazu eine gewisse Dicke c geben, so fragt es sich, wie hoch er dazu werden müsse. Es wird also gefordert, daß

$$b^3 = cx^2 \text{ so ist } x = \sqrt{\frac{b^3}{c}}.$$

§. 33. Die Figur, welche die Natur den Bäumen gegeben hat, nämlich die cylindrische, ist die vortheilhafteste in Ansehung des stärksten Widerstandes, weil die Höhe und Breite in ihrer cirkelrunden Basis sich einander gleich, und zwei Durchmesser von einerlei Cirkel sind. Man benimmt also den Balken, indem man sie vierkantig behauet, einen beträchtlichen Theil ihres Widerstandes.

Nach Eytelwein verhält sich die relative Festigkeit eines Cylinders zu der eines Balkens von gleicher Länge und

Digitized by Google

von einerlei Materie, dessen Querschnitt ein um die Kreisfläche des Cylinders beschriebenes Quadrat ist, wie 0,7363108 : 1 oder beinahe = 14 : 19.

Da aber das Behauen in den meisten Fällen nöthig ist, damit die Balken auf allen Seiten gehörig anpassen und aufliegen, so ist es für die Baupraktik sehr wichtig, auszuforschen, wie man die cylindrische Form in die von einem Parallelepipedum verwandeln muß, damit der Balken die größte Stärke behalten und den möglichst stärksten Widerstand leisten könne. — Um einen Cylinder in ein solches Parallelepipedum zu verwandeln, muß man den Durchmesser der Grundfläche eines Stammes AB Fig. 26 in drei gleiche Theile theilen, und aus den beiden mittlern Punkten C und F senkrechte Linien bis an den Umfang ziehen, welche den Kreis in den DE schneiden. Aus den vier Punkten A,E,B,D in der Circumferenz beschreibe man einen Rectangel, indem man die Punkte durch Linien zusammenzieht, und nach diesem behaue man den Baum vierkantig. Ein Balken von diesem Querschnitte wird die stärkste relative Festigkeit haben, die ein Balken aus diesem Stamme haben kann. Die höhere Mathematik giebt dafür einen strengen Beweis; hier genügt es, das praktische Verfahren zu kennen.

Will man die Seiten des Rechteckes durch Berechnung suchen, so findet man diese auf folgende Art. Es sind die rechtwinkeligen Dreiecke AEB, AEF, EBF unter sich ähnlich und $AF = \frac{2}{3}AB$, $BF = \frac{1}{3}AB$. Es ist also

$\frac{1}{3}AB : BE = BE : AB$ demnach $BE = \sqrt{\frac{1}{3}AB^2}$

$\frac{2}{3}AB : AE = AE : AB$ folglich $AE = \sqrt{\frac{2}{3}AB^2}$

Ist demnach AB = 15 so ist

BE = 8,57 und AE = 12,24

Um zu zeigen, daß ein solches Parallelepipedum das stärkste und am meisten widerstehende ist, nehme man an, daß die beiden Maaße seiner Grundfläche allezeit die Summe von 24 Zoll ausmachen, und sehe folgende Tabelle an.

Digitized by Google

Tabelle
von dem Verhältniß des Widerſtandes der Parallelepipeden zu ihrer Feſtigkeit.

Breite	Höhe	Widerſtand	Feſtigkeit
12	12	1728	144
11	13	1859	143
10	14	1960	140
9	15	2025	135
8	16	2048	128
7	17	2023	119
6	18	1944	118
5	19	1805	95
4	20	1600	80
3	21	1323	63
2	22	968	44
1	23	529	23

Aus dieſer Tabelle laſſen ſich folgende Schlüſſe ziehen:

1) Wenn die Maaße ſich verhalten wie 14 zu 10, ſo verbindet man den größten Widerſtand mit der größten Feſtigkeit;

2) wenn die Maaße ſich verhalten wie 14 zu 10, oder wie 7 zu 5, ſo iſt das Quadrat der größten Seite faſt doppelt ſo groß, als das Quadrat der kleinſten Seite, weil $7 \times 7 = 49$ beinahe doppelt ſoviel iſt, als $5 \times 5 = 25$.

3) Sind die Maaße 12 und 12, ſo verhält ſich deſſen Widerſtand zu ſeiner Feſtigkeit, wie 1728 zu 144, d. i. wie 12 zu 1. Sind die Maaße dagegen 1 und 23, ſo verhält ſich der Widerſtand zu ſeiner Feſtigkeit, wie 529 zu 23. Folglich iſt der Widerſtand des letzten im Verhältniß ſeiner Feſtigkeit faſt doppelt ſo groß, als der Widerſtand des erſten im Verhältniß ſeiner Feſtigkeit. In den zwiſchen dieſen beiden befindlichen Maaßen nimmt der Widerſtand in Vergleichung der damit cor-

Digitized by Google

respondirenden Festigkeit vom ersten bis zum letzten beständig zu.

§. 34. Die relative Festigkeit der Körper läßt sich unter gewissen Bedingungen vergrößern, wenn man sie hohl macht. Hohle Parallelepipeden von Holz tragen mehr als massive von gleichem Querschnitte, wenn die Höhen beträchtlich größer, als bei den massiven sind, und haben zugleich den Vortheil, daß sie durch dieselbe Last weniger biegen, als die massiven. Nach den vom Professor Schmidt zu Gießen *) angestellten Versuchen trug ein 6 Linien breites und hohes massives Parallelepipedum 65½ ℔, dagegen trug ein hohles Parallelepipedum, 6 Linien breit und 10 Linien hoch, eine Last von 85 ℔, und dieses bog sich bei gleicher Last nur den dritten Theil soviel als jenes. Der Querschnitt des hohlen Körpers war jedoch ⅛ stärker als der Querschnitt des massiven.

Young sagt (S. dessen Nat. Phil. §. 339) „wenn ein Balken von namhafter Dicke ausgehöhlt wird, und er dieselbe Masse behält, so wächst die Stärke in einem etwas größern Verhältniß als der Durchmesser, weil die Spannung der innern Fibern im Augenblicke des Bruchs wächst." Derselbe hat eine wichtige Regel angegeben, um die relative Festigkeit und Steifigkeit oder rückwirkende Festigkeit eines Cylinders zu schätzen p. 84. vol. II. Er sagt: Man kann die Stärke eines hohlen Cylinders finden, wenn man von der Stärke des vollen Cylinders die Stärke des ausgehöhlten Theiles abzieht, und zwar nach dem Verhältnisse der Durchmesser, und bemerkt, daß die respective Festigkeit sich in diesem Falle eben so verhält, wie die Steifigkeit. — Schon Galilei sagt, daß ein Weizenhalm, welcher eine Aehre trägt, die weit schwerer als er selbst ist, sich weit leichter biegen oder zerbrechen lassen würde, als es jetzt der Fall sey, wenn er zwar dieselbe Menge von Materie enthielte, aber nicht hohl wäre. Und eben so ist auf wissenschaftlichem

*) Anfangsgründe der Mathematik, IIter Theil 1ste Abtheil. 1ster Abschn. S. 75.

Digitized by Google

Wege gefunden und durch Erfahrung bestätigt worden, daß ein hohles Rohr oder eine Röhre von Holz oder Metall viel fester und stärker ist, als ein voller Cylinder von demselben Gewichte und derselben Länge, welcher nicht so dick wäre, und daher hat die Wissenschaft dahin geführt, Lanzen inwendig hohl zu machen, wenn sie zugleich leicht und fest seyn sollen, so wie auch hohle Cylinder bei den Pfeilern, Röhren, Wasserleitungen u. s. w. anzubringen, um in diesem Falle, wie in vielen andern, die Weisheit der Natur nachzuahmen. Dieselbe Weisheit in Benutzung des Hohlen zeigt sich auch bei vielen andern Gegenständen in der thierischen Oekonomie. So haben die Kiele in den Flügeln der Vögel, obgleich sie sehr dünn sind, doch die so große Kraft, welche zum Fliegen nöthig ist, und sind so leicht, daß sie dem Thiere das Schweben und Herumfliegen in dem dünnen Medio verstatten, worin es leben muß. Auf gleiche Weise sind auch die Stengel vieler Pflanzen z. B. der Gräser, der Rohrarten u. s. w. hohl und besitzen dennoch eine außerordentliche Stärke.

Nach Gregory (S. dessen Mechanik, übersetzt von Dietlein S. 122) verhalten sich die respectiven Festigkeiten des 5zölligen hohlen und 3zölligen vollen Cylinders, wenn jene von gleichen Gewichten und Längen sind, wie 5 : 3. Dieses Verhältniß stimmt ungefähr mit Eytelwein (S. dessen Statik fester Körper S. 322), wo sich die respectiven Festigkeiten des hohlen und vollen Cylinders, wenn der äußere Durchmesser doppelt so groß ist, als der innere, wie 1 : 0,824786 verhalten, überein.

Nach Schmidt a. a. O. verhält sich die Stärke des hohlen Cylinders zur Stärke des massiven Cylinders $= 1 : \frac{\sqrt{R - r^2}}{R}$, wenn R den Halbmesser des vollen Cylinders, r den Halbmesser des hohlen Cylinders bezeichnet.

Ist $r = \frac{1}{2} R$, so verwandelt sich das Verhältniß in

$1 : \sqrt{\frac{3}{4}} = 1 : 0,86$. Ist $r = \frac{1}{4}R$, so ist das Verhältniß $1 : \sqrt{\frac{7}{16}} = 1,66$. Mithin nimmt die relative Stärke bei gleicher Masse mit dem Halbmesser der Höhlung zu.

Robison (Encyclop. Brit. art. Strength) bemerkt auch, daß die hohlen Röhren verhältnißmäßig mehr Steifigkeit und respective Festigkeit besitzen, je dünner der umgebende solide Theil im Verhältniß zum Durchmesser ist. Wir sehen hier die bewundernswürdige Weisheit des Schöpfers bei der Bildung der Knochen der Thiere, welche hohl sind. Die Arm- und Schenkelknochen verrichten ihre Functionen wie Hebel, und müssen so eine respective Festigkeit haben; durch diese Form werden sie nicht allein unvergleichlich stärker und steifer, sondern sie erhalten auch dadurch Raum für die Muskeln und werden zugleich leichter und thätiger.

§. 35. Die vorstehende Theorie über die relative Festigkeit der Körper gründet sich auf den von Galilei gegebenen Grundsatz. Sie setzt aber voraus, daß der Körper absolut starr und unbiegsam sey. Dies findet aber in der Natur nicht statt, vielmehr biegen sich alle Körper durch angehängte Lasten mehr oder weniger, bevor sie brechen. Die Theorie der krummen Linie (linea elastica genannt), nach welcher die Körper sich biegen, wenn sie an einem oder mehreren Puncten unterstützt sind und an andern mit Lasten beschwert werden, haben Leibnitz, Bernoulli, Euler und andere Mathematiker dargestellt, und in neuern Zeiten haben besonders Girard (Theorie des Widerstandes der festen Körper, ins Deutsche übersetzt von Krönke, Gießen 1819) und Eytelwein (Handbuch der Statik fester Körper) Anwendungen von diesen Lehren auf die relative Festigkeit der Körper mit Rücksicht auf ihre Elasticität und Biegsamkeit gemacht. Indem hier auf diese Bezug genommen wird, kann um so mehr die Betrachtung der elastischen Linie, so wie der krummen Linie überhaupt übergangen werden, weil diese nicht, ohne Kenntniß der höhern Rechenkunst vorauszuse-

Digitized by Google

tzen, angestellt werden kann, und weil die Erfahrung lehrt, daß die Körper eben so wenig vollkommen elastisch, als absolut starr sind. Da aber die aus Eytelwein's Versuchen über die respective Festigkeit der Hölzer, welche zum Bauen angewandt werden, entstehenden Resultate für die Anwendung sehr brauchbar sind, so sollen diese hier angeführt werden.

Vorerst bemerke man aber zur Erläuterung nachstehender Tafel Folgendes. Wird ein Balken mit dem einen Ende in einer lothrechten Wand befestigt, so ist offenbar die Wirkung des an seinem andern Ende aufgehängten Gewichts ein Bestreben, die obern Fasern zu verlängern oder auszudehnen, um die andern zu verkürzen oder zusammenzudrücken. Setzt man die Länge eines aus einer Wand herausstehenden Theils des Balkens = l, dessen Breite, Höhe und Länge b, h, l sind, und die aufgehängte Last = Q, so erhält man für einerlei Materie aber verschiedene Abmessungen nach Eytelwein die Gleichung, wenn der Factor N die Function der specifischen Elasticität des Holzes bezeichnet

$$lQ = Nh^2b \text{ und } N = \frac{lQ}{h^2b}$$

hieraus ergiebt sich die respective Festigkeit eines Balkens

$$Q = N \frac{bh^2}{l}$$

wo Q die Anzahl der berliner Handelspfunde ist, welche am Ende eines mit dem andern in einer Wand befestigten Balkens, der von der Wand an l rheinl. Zolle lang, b Zolle breit, h Zolle hoch ist, aufgehängt, den Balken zu zerbrechen im Stande sind, wenn man den Werth von N, welchen Eytelwein aus seinen Versuchen im Mittel genommen hat, aus der ersten Spalte der nachstehenden Tabelle nimmt.

Wird ein elastischer Balken, dessen Abmessungen, wie vorher, bezeichnet sind, an beiden Enden unterstützt (wo dann l die Entfernung der Unterstützungspunkte von einander bezeichnet) und in der Mitte mit einem Gewichte P belastet,

Digitized by Google

so ist der Druck auf jeden Unterstützungspunkt nach den Gesetzen des Hebels $= \frac{1}{2}P$.

Wenn nun der Balken im ersten Augenblicke der Belastung in der Mitte zerbrechen soll, so ist nach Eytelwein das dazu ohne alle Verminderung fähige Gewicht

$\frac{1}{2}P = N\frac{bh^2}{\frac{1}{2}l}$ also das Gewicht, welches in der Mitte eines an beiden Enden unterstützten Balkens ohne alle Verminderung im Stande ist, denselben im ersten Augenblicke zu zerbrechen

$P = 4N\frac{bh^2}{l}$ wo der Factor N, wie oben angezeigt ist, eine Function von der specifischen Elasticität des Holzes ist. Den Werth von N, welchen Eytelwein aus seinen Versuchen im Mittel genommen hat, findet man in der ersten Spalte.

Ist die Last Q′ über den an einem Ende in einer Wand befestigten Balken gleichförmig nach dessen Länge verbreitet, so liegt der Schwerpunkt der Last in der Mitte der Länge, oder es ist in Bezug auf die Ausdehnung der Fasern in dem an der Wand liegenden Querschnitte eben so gut, als wenn die halbe Last am freien Ende des Balkens vereinigt angebracht wäre. Daher ist

$\frac{1}{2}Q' = N\frac{bh^2}{l}$ oder $Q' = 2\frac{Nbh^2}{l}$ also $Q' = 2Q$,

d. h. wenn eine, am freien Ende eines mit dem andern Ende in einer Wand befestigten Balkens aufgehängte Last Q denselben im ersten Augenblicke ohne Verminderung zu zerbrechen im Stande ist, so gehört dazu die doppelte Last, wenn die letztere über den Balken nach dessen Länge gleichförmig verbreitet ist.

Ist eine Last P′ auf einen an beiden Enden unterstützten Balken gleichförmig nach dessen Länge verbreitet, so ist, wenn man auf eine ähnliche Art, wie oben, schließt, für den Bruch

Digitized by Google

$$P' = 2P = 8N \frac{bh^2}{l}$$

Um einen Näherungswerth für die Belastung zu erhalten, die ein Balken noch mit Sicherheit tragen kann, da eine kleinere Belastung als die, welche einen Balken im ersten Augenblicke ohne Verminderung zu zerbrechen im Stande ist, den Bruch noch nach einiger Zeit bewirken kann, hat Eytelwein aus vieljähriger Erfahrung angenommen, daß die größte Last, welche ein kiefernet Balken (einschließlich seines eigenen Gewichts) mit voller Sicherheit in der Mitte tragen kann, $= \frac{1}{12} P = \frac{1}{6} N$ sey. Den Werth von $\frac{1}{6} N$ findet man in der zweiten Spalte.

Buffon hat dagegen die Erfahrung gemacht, daß ein Balken von Eichenholz bei einer Belastung von resp. $\frac{1}{7} Q$ und $\frac{1}{7} P$ sich beträchtlich gebogen hat, aber nicht gebrochen ist. Der Sicherheit wegen wird also nie mehr als höchstens die Hälfte für die Belastung, also resp. $\frac{1}{14} Q$ oder $\frac{1}{14} P$ anzunehmen seyn dürfen, und es scheint daher, als dürfe ein an beiden Enden unterstützter Balken in seiner Mitte nie mit mehr als $\frac{1}{14} P$ belastet werden, und als brauche man für den höchsten nöthigen Grad von Sicherheit die Belastung nie unter $\frac{1}{12} P$ anzunehmen.

Um die größte Senkung des Balkens in der Mitte zu finden, bevor er bricht, dient die Formel

$$w = \frac{l^2}{ah^2}$$

Die Werthe von a findet man in der vierten Spalte. Die Beweise für die in der dritten und fünften Spalte angegebenen Formeln findet man in Eytelwein's Statik Th. II. S. 294. 406. 407. In der 6ten Spalte sind die absoluten Gewichte eines rheinl. Kubikfußes nach Eytelwein's und Hartig's Angaben angeführt.

Bibliothek
Bay. Pionier-Bataillon 7
STAB
Abt.
Digitized by Google

§. 36. Bauholzarten	N	$\frac{N}{8} = e$	Die größte Senkung im ersten Augenblicke der Belastung.	Größte Senkung bei dem Zerbrechen.	Größte Länge, auf welcher ein Balken unbelastet mit Sicherheit frei liegen kann.	Mittelwerth des Gewichts von einem rheinl. Kubikfuß.		
						nach Eytelwein für trocknes Holz	nach Hartig.	
							für frisches Holz.	für dürres Holz.
	Berliner Pfunde.		Rheinländische Zolle.			Berliner Pfunde.		
Kiefern oder Föhren	2878	360	$\frac{l^2}{20992.h}$	$\frac{l^2}{656.h}$	$\sqrt{\frac{2878.h}{0{,}0916}}$	38,8	60	36
Sommer- oder Stieleichen	4006	501	$\frac{l^2}{18976.h}$	$\frac{l^2}{593.h}$	$\sqrt{\frac{4006.h}{0{,}1206}}$	44,7	63	45
Winter- oder Steineichen	4109	514	$\frac{l^2}{18560.h}$	$\frac{l^2}{580.h}$	$\sqrt{\frac{4109.h}{0{,}1526}}$	48,5	71	47
Rothtannen oder Fichten	2049	256	$\frac{l^2}{20768.h}$	$\frac{l^2}{649.h}$	$\sqrt{\frac{2049.h}{0{,}0748}}$	24,6	58	31
Weißtannen	2737	342	$\frac{l^2}{22656.h}$	$\frac{l^2}{708.h}$	$\sqrt{\frac{2737.h}{0{,}0656}}$	27,8	59	37

Digitized by Google

Es ist hierbei zu bemerken, daß die Dimensionen eines Balkens b, h, l, in rheinl. Zollen und das Gewicht Q in berliner Pfunden ausgedrückt werden. Bei der Anwendung der Verhältnißzahlen Spalte 1 und 2 auf Berechnung von gleichförmig verbreiteten Lasten reducire man diese dadurch auf die Mitte, daß man nur ihre Hälfte in Rechnung bringt. Beispiele sollen dieses näher erläutern.

Es soll untersucht werden, ob ein an den Enden fest verspannter kieferner Balken, dessen Länge von einem Unterstützungspunkte zum andern $= l = 25' = 300''$, dessen Breite $= b = 12''$ und dessen Höhe $= h = 14''$ beträgt, eine gleich verbreitete Last von 6400 ℔ tragen kann.

Der Balken enthält 29 c′, also ist das Gewicht desselben zu 38 Pf. × 29 = 1102 ℔
hierzu die gleich verbreitete Belastung von 6400 ℔
Mithin ist die ganze Belastung 7502 ℔

Diese Last wird auf die Mitte reducirt, indem wir nur 3751 ℔ als die Hälfte derselben annehmen. Die ganze Tragkraft des Balkens ist

$$\frac{2ebh^2}{l} = \frac{720.12.14^2}{300} = 5644\,℔.$$

Es trägt also der Balken diese Last mit vollkommener Sicherheit.

Wäre die Last nicht gleich verbreitet, sondern auf der Mitte des Balkens, aber dieser doch fest verspannt, so wird die Hälfte des absoluten Gewichts des Balkens, welches wir mit $\frac{1}{2}q$ bezeichnen, von der Tragkraft abgezogen; denn das absolute Gewicht des Balkens wird zur Hälfte von den Unterlagen getragen, zur andern Hälfte aber wirkt der Balken als Last. Demnach ist

$$2\,\frac{ebh^2}{l} - \tfrac{1}{2}q = 5644\,℔ - 562{,}7 = 5081{,}3\,℔$$

Nach Spalte 3 war die größte Senkung unter der gleich verbreiteten Last von $5644 . 2 — 11288$ im ersten

Digitized by Google

Augenblicke der Belastung $Q = \frac{90000}{20992 . 14} = 0{,}3$ Zoll, für 3762, 5 . 2 = 7525 ℔ wäre sie weniger.

Um die größte Senkung des Balkens in der Mitte, bevor er bricht, zu finden, dient die Formel in der vierten Spalte

$$\frac{l^2}{656 . 14^2} = \frac{90{,}000}{656 . 14^2} = 0{,}7 \text{ Zoll,}$$ wobei aber vollkommen trockenes Holz vorausgesetzt wird; frisches Holz läßt sich viel stärker biegen.

Mit der Länge eines Balkens bei bestimmten b und h nimmt die respective Festigkeit desselben ab, und sein absolutes Gewicht nimmt zu. Es kann also ein Balken bei einer gewissen Länge unter seiner eigenen Last zerbrechen. Auf welcher Länge er aber mit Sicherheit frei liegen könnte, wenn seine Enden unverspannt wären, erfährt man nach der 5ten Spalte.

$$\sqrt{\frac{2878 . h}{0{,}0916}} = \sqrt{\frac{2878 . 14}{0{,}0916}} = 686'' = 57' 2''$$

Die im ersten Augenblicke dieser Länge entsprechende Senkung wäre

$$= \frac{686^2}{20992 . 14} = 1{,}6 \text{ Zolle.}$$

Ein jeder Balken zerbricht unter seinem eigenen Gewichte, wenn er beiläufig dreimal so lang wird, als die zur Sicherheit berechnete Länge ist.

§. 37. Aus den im §. 35 angeführten Formeln geht zugleich hervor, daß sich die respectiven Festigkeiten elastischer parallelepipedischer Balken von einerlei Materie eben so wie die unelastischen, gerade wie die Breiten und die Quadrate der Höhen und umgekehrt wie die Längen verhalten.

§. 38. Ein Balken, der blos auf zwei Unterlagen horizontal und unbeweglich fest liegt, biegt sich gleich, wenn er in der Mitte durch eine Last gedrückt wird, d. h. seine Fibern ziehen sich mehr zusammen; und je mehr sie dieses thun,

Digitized by Google

desto leichter brechen sie. Bricht er, entweder durch seine eigene oder fremde Last, so geschieht der Bruch an drei Orten, in der Mitte und an beiden Enden nahe bei den Unterlagen. Sind die beiden Enden in den Unterlagen hingegen wohl befestigt, so ist die Zusammenziehung der Fibern geringer und der Widerstand stärker; denn die Schwere der Mitte übt den dritten Theil ihrer Kraft auf jede der drei Stellen, die brechen wollen, aus. Es ist daher ein solcher befestigter Körper um einen Drittheil stärker, als einer, der nur blos aufliegt.

Die Erfahrung trifft jedoch nicht allemal mit diesem Grundsatze überein; der Unterschied rührt aber theils von der Verschiedenheit der Hölzer, theils von der Gewalt her, mit der sie festgehalten werden. Es ist indeß sehr wichtig, daß die Köpfe der Balken nicht nur fest in die Mauer hineingesteckt, sondern auch sorgfältig befestigt werden, und daß man das Mauerwerk umher so solid als möglich mache. Buffon sagt, daß, wenn ein Balken an beiden Enden unüberwindlich fest gehalten, und in einer unbiegsamen und vollkommen harten Materie eingefaßt würde, so gehöre eine größere Kraft dazu ihn zu zerbrechen, als erfordert wird, einen aufrecht stehenden Balken durch eine auf ihm liegende Last zu zerdrücken. Daher hat Morveau zur Verstärkung der Balken und zu mehrerer Sicherheit der Decken den Vorschlag gemacht, auf den Hauptbalken einen kleinen Balken zu legen, ihn durch eine Schraube in der Mitte an jenen anzuschrauben, und an den beiden Enden genau in der Mauer zu befestigen. (Man sehe Rozier's Journal vom Jahre 1774.)

Je weiter die Last von der Mitte eines auf zwei Unterlagen horizontal ruhenden Balkens entfernt ist, desto größer muß sie seyn, um den Bruch zu verursachen. Die schwächste Stelle des Balkens ist also seine Mitte.

§. 39. Ein regulairer solider Körper, der schief auf zwei Unterlagen liegt, Fig. 27, hat mehr Stärke als einer in einer horizontalen Lage, und diese Stärke nimmt zu, je weniger

Digitized by Google

die Lage horizontal ist, d. i., je mehr sich der Neigungswinkel BCE, den der Körper mit der Horizontallinie macht, dem rechten Winkel nähert. Die Stärke der schief stehenden Pfähle verhält sich demnach zur Stärke der senkrechten, wie der Cosinus des Winkels, den die Direction der Last mit dem schiefen Pfahle macht, zum Sinus totus, oder

CE : CB = cosin. BCE : Sin tot. folglich

(A) CE = CB . cosin. BCE.

Nach §. 30 hat man unter der daselbst gemachten Voraussetzung

P.CE = C $\frac{1}{4}$ DC. Wird nun der Werth von CE in (A) hier substituirt, so erhält man

P . CB . cosin. BCE = C . $\frac{1}{4}$ CD folglich

$$P = \frac{C \cdot \frac{1}{4} CD}{CB \cdot \text{cosin } BCE}.$$

Wenn daher der Neigungswinkel verschwindet, oder je größer der Winkel BCE d. i., je kleiner sein Cosinus wird, desto größer wird P, das heißt so viel, wenn der Körper CB einen verticalen Stand bekommt, oder senkrecht auf der Horizontallinie steht, so läßt sich die Inclinationslinie und folglich auch die Last P, welche der Körper CB tragen kann, nicht mehr bestimmen. Ein vertical stehender Körper, eine Säule oder ein Balken kann demnach eine unglaubliche Last tragen, weil für eine lothrechte Lage von CB die Gleichung P unendlich groß gäbe. Diesem widerspricht die Erfahrung; denn sie lehrt, daß ein verticaler Körper von einer gewissen Höhe sich sowohl biegen als brechen kann. Dieses trägt sich vornehmlich in zwei Fällen zu, entweder, wenn die Last nicht senkrecht darauf ruht, und also einen Seitendruck veranlaßt, oder wenn die Theile des Körpers eine schiefe Lage haben. Wäre es möglich, daß es Körper gäbe, die aus vollkommen festen Theilen zusamengesetzt, und diese so genau unter einander verbunden wären, daß nicht die geringsten Poren dazwischen blieben, dann würden sie nach ihrer Verticallänge eine jede ihnen aufgebürdete Last tragen können, wenn solche nämlich gerade auf ihre Achse drückte. Da aber alle Körper aus

Digitized by Google

irregulairen Partikeln bestehen, welche eine so unordentliche Lage haben, daß sie Raum für eine unendliche Menge von Poren lassen, so können sie, wenn sie gedrückt werden, nicht ihre Figur unverändert behalten, sondern ihre Theile, welche mit einer eingeschränkten Kraft vereinigt sind, müssen, wenn die Cohäsion vermittelst einer starken Gewalt aufgehoben ist, entweder nach inwendig weichen, wo die Poren sind, oder nach auswendig, wo sie keinen Widerstand finden. Nimmt der Druck zu, so biegen sie sich und zerbrechen, entweder in der Mitte, oder wo die Theile am wenigsten zusammenhängen.

§. 40. Die Kraft, mit welcher ein Körper, der auf einem wagerecht festen Boden so steht, daß seine Länge lothrecht ist, einer auf sein anderes Ende gelegten Belastung widersteht, wird die rückwirkende Festigkeit genannt, und ihr Maaß ist die kleinste Last, welche erfordert wird, entweder den Körper zu zerdrücken oder, nach vorhergegangenem Biegen, zu zerbrechen.

Wird ein rechtwinkliges, auf einer festen wagerechten Ebene stehendes Parallelepipedum durch eine auf sein anderes Ende aufgelegte Last gebogen, so werden die Fasern auf der abwärts von dem Lothe durch den Schwerpunkt der Belastung gekehrten Seite ausgedehnt, und die auf der entgegengesetzten zusammengedrückt, und zwischen beiden Arten von Fasern liegt eine Schicht, die weder ausgedehnt noch zusammengedrückt wird. Bezeichnet man

die Höhe eines Körpers = a
die kleinere Seite der Grundfläche oder die Dicke = h
die größere Seite oder die Breite = b,

so wird die Biegung eines solchen senkrecht belasteten Körpers natürlich nach der Richtung statt finden, auf welcher der Widerstand am kleinsten ist, mithin nach der Richtung der kleinern Seite h sich beugen und bei vermehrtem Drucke endlich zerbrechen. Die Größe der Beugung bei dem Bruch hängt von dem Grade der absoluten und relativen oder respectiven Elasticität ab. Je kleiner die Elasticität eines Kör-

Digitized by Google

pers, je weniger biegsam ist er, je größer ist die absolute und relative Elasticität d. h. eine desto größere Kraft erfordert er zum Beugen. So erfordert Eichenholz eine größere Kraft zum Beugen als Nadelholz, weil es weniger elastisch ist.

Die absolute Elasticität, von Eytelwein mit e^2 bezeichnet, ist diejenige Kraft, welche zur Beugung einer gewissen Gattung von Holz oder Steinen, als eine mittlere Kraft angenommen wird. Der Werth von e^2 hängt demnach blos von der Materie ab. Die relative Elasticität, von Eytelwein mit E^2 bezeichnet, hängt nicht nur von der Materie, sondern auch von den Abmessungen des Querschnittes ab, daher nach Eytelwein

$$E^2 = e^2 bh^3$$

Bezeichnet nun Q die kleinste Last, welche allen Beugungen des Körpers, bis zum Zerbrechen, das Gleichgewicht hält, so ist, nach Eytelwein, für elastische Körper nachstehende Formel eine beständige Größe für einerlei Materie

$$Q = \frac{\pi^2 E^2}{a^2} \text{ folglich } Q = \pi^2 e^2 \frac{bh^3}{a^2} \text{ wo } \pi \text{ die Verhältnißzahl } 3{,}14159 \text{ ausdrückt.}$$

Man sieht also, daß bei Parallelepipeden von dieser Art die rückwirkenden Festigkeiten sich verhalten, wie:

$$Q : Q' = \frac{bh^3}{a^2} : \frac{BH^3}{A^2}$$

Folglich stehen die rückwirkenden Festigkeiten bei Parallelepipeden von einerlei Materie in Hinsicht des Biegens und dadurch veranlaßten Zerbrechens bei

$h = H$ und $a = A$ wie $b : B$ oder in geradem Verhältnisse ihrer Breiten, bei

$b = B$ und $a = A$, wie $h^3 : H^3$ oder in geradem kubischen Verhältnisse ihrer Höhen, bei

$h = H$ und $b = B$ umgekehrt wie $A^2 : a^2$ oder im umgekehrten Verhältnisse der Quadrate ihrer Längen.

Eytelwein hat aus seinen Versuchen über die respective Festigkeit, Verhältnißzahlen für die absolute Elasticität auf-

Digitized by Google

gefunden, und mit den Resultaten der Muschenbröckschen und Girardschen Versuche sorgfältig verglichen. Nach diesen ist

$\pi^2 e^2$ für Kiefern und Fichtenholz $= 1{,}552{,}642$
$\pi^2 e^2$ für Sommereichen $= 1{,}953{,}875$ ꝛc.

Da aber dieses für das Zerbrechungsmoment gilt, so räth er von dieser Zahl nur $\frac{1}{32}$ zu nehmen. Hiernach findet sich

Q' für Kiefernholz $= 48{,}520 = \frac{\pi^2 e^2}{32}$
" Sommereichen $= 61{,}058$
" Wintereichen $= 61{,}256$
" Weißtannen $= 49{,}806$
" Rothtannen $= 34{,}176$

womit man jedesmal $\frac{bh^3}{a^2}$ multiplicirt.

Es sey $h = 6$, $b = 8$, $a = 120$, so wäre für Wintereichen $\frac{61256 . 8 . 6^3}{120^2} = 7350{,}7$ Pfunde.

Röder bemerkt, daß es eine praktische Regel sey, einer Stütze niemals mehr als 10 — 12 Mal die Länge ihrer kleinsten Dimensionen zur Höhe zu geben, d. i. hier $a = 60'' - 72''$, da sie alsdann seitwärts gegen das Ausbeugen gesichert sey.

Gregory bemerkt, daß sich nicht nur die respective, wie oben bemerkt worden, sondern auch die rückwirkende Festigkeit eines Balkens von quadratischem Querschnitte, zu der eines cylindrischen, dessen Querschnitt der in das vorgedachte Quadrat beschriebene Kreis ist, wenn beide aus einerlei Materie bestehen, und gleiche Längen haben, wie 1 : 0, 73631077 verhält.

§. 41. Es sind mit den Steinen, deren Elasticität sehr klein aber vollkommen ist, keine Versuche zur Bestimmung der absoluten Festigkeit oder zum Beugen gemacht. Allein zur Bestimmung der rückwirkenden Festigkeit der

Digitized by Google

Steine haben Muschenbröck, Gauthey, Rondelet, Quantin und Wiebeking Versuche angestellt. Aus den Versuchen, welche die französischen Ingenieurs in den letztverflossenen Jahrzehnten in großer Anzahl angestellt haben, lernt man, daß wenn die gepreßten Bestandtheile aus Fasern bestehen, so werden sie an den Seitenflächen des Körpers nach der Länge von einander spalten, und dadurch ein solches Verhältniß der Dicke zur Länge erhalten, daß die einzelnen Fasern nach der Seite ausweichen. Besteht die Masse aus Körnern, die durch ein Bindemittel zusammenhängen, so wird das Zerdrücken dabei auf eine ähnliche, der Textur dieses Stoffes angemessene Art vor sich gehen. Gauthey erzählt in seinem Traité de la construction des ponts (1809) hierüber Folgendes: „Harte Steine von feinem Korn, aus gleichartigen und dichten Bestandtheilen, zertheilen sich mit Geräusch in Blätter und Nadeln in senkrechten Spalten, ehe sie sich in Staub verwandeln. Mürbe Steine aus solchen Bestandtheilen spalten sich in Pyramiden, deren Grundfläche auf der obern und untern Fläche des gepreßten Körpers stehen; die Spitzen stoßen in der Mitte zusammen. Diese Pyramiden wirken wie Keile gegen einander, drängen gegen die Seitenflächen, spalten sich nachmals in kleine verticale Prismen und zerfallen endlich in Staub."

Dabei macht Gauthey folgende wichtige Bemerkungen:

1) Daß auch bei der sorgfältigsten Bearbeitung die Steine selten auf ihren ganzen Fugenflächen tragen; denn es ist äußerst schwer, die Steine so zu bearbeiten, daß die Kanten derselben nicht mehr, als die Mitte gepreßt werden, und daß der Druck vollkommen senkrecht auf die Oberfläche erfolgt;
2) daß die Tragkraft bei Cylindern größer, als bei Prismen von gleichem Querschnitte sey;
3) daß die rückwirkende Festigkeit mit den Höhen der Steine zu-, aber mit der Zunahme der Mauerschichten abnimmt;

Digitized by Google

4) daß die Festigkeit mit der specifischen Schwere der Steine im Allgemeinen zunimmt.

In Ansehung des Widerstandes der Steine und Marmor hat Muschenbröck folgende Erfahrungen gemacht:

1) Ein Pfeiler von Ziegelsteinen, $11\frac{1}{2}$ Zoll hoch, und auf jeder Seite $\frac{5}{12}$ Zoll breit, ist unter einer Last von 195 ℔ gebrochen.

2) Ein anderer Pfeiler von Bruchsteinen, der $12\frac{10}{12}$ Zoll hoch und auf jeder Seite $\frac{5}{12}$ Zoll breit war, brach von 150 ℔ ein.

3) Ein Pfeiler von weißem, etwas geadertem Marmor, $13\frac{1}{4}$ Zoll hoch, auf einer Seite $\frac{7}{12}$ und auf der andern $\frac{5}{12}$ Zoll breit, ward durch eine Last von 250 ℔ gebrochen.

Aus diesen Erfahrungen erhellet

1) daß ein Pilaster von Ziegelsteinen 10 Fuß hoch und auf einer Seite 3, auf der andern Seite 7 Zoll breit, eine Last von $1835\frac{846}{5625}$ ℔ tragen kann;

2) daß eine 10 Fuß hohe und 3 Zoll dicke Mauer so viel Mal $1835\frac{846}{5625}$ ℔ tragen kann, als 7 Zoll in der Länge von 10 Fuß enthalten sind;

3) daß eine Säule von weißem Marmor, 40 Fuß hoch und 4 Fuß im Durchschnitte, eine Last von ungefähr 105,011,285 ℔ tragen kann.

Ueber die Festigkeit, welche Steine beim Zerdrücken auf der Grundfläche äußern, oder zur Bestimmung der rückwirkenden Festigkeit der Steine sind mehrere Versuche angestellt.

I. Nach den von Gauthey und Rondelet angestellten Versuchen ist die Mittelzahl zwischen der größten und kleinsten Last, welche den Stein

auf 1 Quadratzoll rheinl. Grundfläche zerdrückt, von Basalt 22638 berl. ℔
" " Porphyr 26261 " "
" " Granit 9224 " "
" " schwarz. Marmor 7824 " "
" " weißem Marmor 3906 " "
" " weißem harten Sandstein 11389 " "
" " blättrigem Kalkstein 5500 " "
" " körnigem Kalkstein 4143 " "
" " Muschelkalk 2772 " "
" " Lava 5258 " "
" " Tuffstein 555 " "
" " Kalkstein von der Brücke von Neuilly 1856 " "

Nach den von Quantin angestellten Versuchen ist die Mittelzahl zwischen der größten und kleinsten Last, welche den Stein auf 1 Quadratzoll rheinl. Grundfläche zerdrückt, von Sandstein 2631, von Ziegelstein 1124

II. Nach Wiebeking's Versuchen ist ebenfalls
von röthlichem, eisenhaltigem Sandstein 6841 berl. ℔
" gelbem Sandstein 2125 " "
" Murnauer Sandstein 2005 " "
" Tuffstein härtester Gattung 1785 " "
" Nagelflue von Glarnisch 1537 " "
" Kalksteinen von Lengries 6416 " "

Rondelet sagt aber, daß die meisten Steine anfingen Sprünge zu bekommen, wenn sie ungefähr mit der halben Last beschwert waren, die zum Zerdrücken erfordert wurde, und alle Versuche beweisen, daß, wie bei der relativen Festigkeit, die Steine eine aufgelegte Last oft mehrere Tage ertrugen, unter der sie endlich zersprangen. Rondelet's Versuche bestätigen vollkommen, daß die rückwirkende Festigkeit im Verhältniß der Grundfläche zunehme.

Um mit Sicherheit bestimmen zu können, wie viel man von den obenstehenden Verhältnißzahlen, welche wir mit K bezeichnen, annehmen dürfe, müssen wir die Dauerhaftigkeit

Digitized by Google

der alten kühnen Bauwerke, deren Bausteine Versuche ausgehalten haben, untersuchen, und wir werden finden, daß es Säulen und Pfeiler sind, welche $\frac{1}{10}$, ja gar $\frac{1}{4}$ derjenigen Last tragen, unter welcher sie zerdrückt werden würden. — Bei Brückengewölben wirft sich ein großer Theil der Last, welche beide Gewölbhälften auf den Schlußstein äußern, bei der mit der Ausrüstung erfolgenden Zusammensetzung des Gewölbes auf die obere Kante desselben, und wird so der Sicherheit gefährlich. — Bei der Brücke von Neuilly ist der Schlußstein des Gewölbes von Saillancourt auf $\frac{1}{4}$ K von der Festigkeit des zu diesem Bau verwendeten Steins gerechnet.

Wir können demnach, wenn es nöthig ist, $\frac{bhk}{14}$ für Gewölbsfugen und $\frac{bhk}{12}$ für senkrechte Mauern nehmen, wo b, h die Breite und Dicke der Fugen oder Grundflächen und k die oben stehende Verhältnißzahl bezeichnen.

Von der Reibung.

§. 42. Reibung oder Friction der Körper wird der von der Rauhigkeit der Oberfläche herrührende Widerstand, welcher sich der Bewegung entgegengesetzt, genannt.

Ein Körper ist rauh, wenn Theilchen auf der Oberfläche über die andern hervorragen, so daß Erhebungen und Vertiefungen mit einander abwechseln. Alle Körper haben eine mehr oder weniger rauhe Oberfläche, und es giebt keinen Körper, dessen Außenfläche als vollkommen glatt angesehen werden könnte. Wenn daher ein Körper über den andern hinbewegt werden soll, so wird Kraft erforderlich seyn, um den von den Erhebungen der Körper oder von den Vertiefungen des einen über die Erhebungen des andern herrührenden Widerstand zu überwinden. Fände keine Reibung statt, so würde die geringste Seitenkraft hinreichend seyn, den Körper auf seiner horizontalen Unterstützung fortzubewegen.

Digitized by Google

Allein die Unebenheiten der körperlichen Theile erfordern, nach Verhältniß der mehreren oder mindern Rauhigkeit der Berührungsflächen, eine größere oder kleinere Kraft, um den Körper in Bewegung zu setzen.

Um durch Versuche die Größe des Widerstandes zu bestimmen, welchen die Reibung der Bewegung entgegensetzt, stelle man die Ebene CD Fig. 28 horizontal, lege darauf den Körper P, an welchem der Faden m AQ, über eine Rolle geschlagen, befestigt wird und woran das Gewicht Q der Reibung das Gleichgewicht hält, so daß bei dem geringsten Zusatze von Gewicht der Körper in Bewegung kommt. Da nun die Schwere des Körpers von der horizontalen Ebene ganz getragen wird, so hat die, nach horizontaler Richtung wirkende Kraft nichts, als die Reibung zu überwinden und dient daher zur Abmessung derselben.

Bezeichnet nun F die Verhältnißzahl der Reibung, so ist $F = Q$ zu setzen.

So wie die Reibung sich mit der Rauhigkeit der reibenden Flächen vermehrt, so ist auch mittelst Versuche erwiesen, daß die Reibung dem Drucke proportional sey, wenn übrigens gleiche Umstände statt finden. Vermöge dieser Erfahrung kann die Kraft zur Ueberwindung der Reibung bestimmt werden.

Bezeichnet P den Druck, mit welchem ein reibender Körper gegen einen andern gepreßt wird, so möge zur Ueberwindung der Reibung die Kraft F nöthig seyn. Wären z. B. bei einem angestellten Versuche unter gleichen Bedingungen f Pfunde für die Last p zu Ueberwindung der Reibung hinreichend, so daß bei dem geringsten Zusatze von Gewichten der reibende Körper in Bewegung kommt, so verhält sich

$$p : f = P : F \text{ und } F = \frac{f}{p} \cdot P$$

Wird der Bruch $\frac{f}{p}$ als der Reibungs-Coefficient mit

Digitized by Google

μ bezeichnet, so ist $F = \mu P$, wo die Größe μ durch Erfahrung bestimmt werden muß.

Im Jahre 1779 und 1781 wurde von der Akademie der Wissenschaften zu Paris ein Preis auf die Theorie der einfachen Maschinen mit Rücksicht auf die Effecte der Reibung und Steifigkeit der Seile gesetzt. Den Preis, welcher verdoppelt war, erhielt Coulomb. Aus dessen Abhandlung hat Prony einen sehr vollständigen Auszug in seiner Architectura hydraulica geliefert. Auch theilt Eytelwein im ersten Bande seiner Statik fester Körper Coulomb's Versuche ziemlich vollständig mit. Indem hier auf diese angeführten Schriften verwiesen wird, werden nur die Hauptresultate der Versuche mitgetheilt.

Die Reibung des Eichenholzes auf Eichenholz mit gleichlaufenden Fasern ohne Schmiere giebt im Mittel für $\mu = 0{,}42$, die Reibung des Eichenholzes auf Kiefernholz mit gleichlaufenden Fasern ohne Schmiere giebt für $\mu = 0{,}67$, eben so Kiefern auf Kiefernholz $= 0{,}56$, Ulmen auf Ulmenholz $= 0{,}46$, Eisen auf Eisen $= 0{,}285$, Messing auf Eisen $= 0{,}263$, Kupfer auf Eisen $= 0{,}167$, und wenn Talg zwischen die reibenden Körper gebracht wird, giebt die Reibung des Eichenholzes auf Eichenholz für $\mu = 0{,}368$, ebenso Kupfer auf Eisen $= 0{,}116$.

Coulomb zieht aus seinen Versuchen nachstehende Folgerungen. Die Reibung ist, wie bemerkt worden, vom Drucke der Größe der reibenden Fläche fast ganz unabhängig, wenn übrigens gleiche Umstände statt finden. Die Reibung beim Fortgleiten eines Körpers über den andern ist bei verschiedenen Körpern sehr ungleich, sie ist aber größer als die rollende. Ist der Körper einmal in Bewegung, so widersteht die Reibung weniger, als wenn er erst aus der Ruhe soll gebracht werden; daher ist die Reibung der Ruhe größer als die Reibung der Bewegung.

Die verschiedenen Geschwindigkeiten der Körper bei der Reibung während der Bewegung hat bei manchen Materien gar keinen, bei andern nur einen solchen Einfluß, daß der-

Digitized by Google

selbe in den meisten Fällen bei Seite gesetzt werden kann. (S. Eytelwein's Statik fester Körper, 1ster B. S. 228—231).

Nach Eytelwein's Statik, 1ster Th. §. 239, ist die drehende, oder um eine Achse sich bewegende Reibung $F = \frac{1}{2}\mu M$. Wir bemerken hier, daß die Reibung, außerdem daß sie von der Größe der Kraft und Last und ihren Reibungen abhängt und mit jenen wächst, auch dadurch verringert werden kann, daß der Durchmesser des Umdrehungszapfens im Verhältniß des Scheibendurchmessers möglichst klein gemacht, an den Enden in den Pfannen kegelförmig zugespitzt wird, recht genau gedreht, sehr geglättet, mit passenden, die Reibung mindernden, Mitteln geschmiert sey, und daß Pfannen und Bolzen von solchen Stoffen gemacht werden, daß sie am wenigsten reiben.

Aus diesem Grunde sind an Fuhrwerken große Räder vortheilhafter, als kleinere bei einerlei Dicke der Achse; denn die Kraft, mit welcher das auf dem Erdboden aufliegende Rad herumgeführt wird, vermag mehr bei jenen im Verhältniß des Reibens, als bei diesen, weil sie in einer größern Entfernung wirken. Eben daher sind größere Rollen besser als kleine, wobei es am besten ist, den Zapfen in der Scheibe der Rolle zu befestigen, damit er sich in derselben herumbewegen könne.

Für die Reibung bei der rollenden Bewegung kann nach Fischer's Statik §. 60 S. 86 mit hinreichender Genauigkeit die Hälfte des Reibungs-Coefficienten μ angenommen werden. Daß aber die Reibung bei der rollenden Bewegung nur $\frac{1}{10}$ von der Reibung bei der gleitenden Bewegung sey, und in den meisten Fällen noch viel weniger, erhellet aus folgendem einfachen Versuche. Man lege auf eine bewegliche schiefe Ebene ein kleines Parallelepipedum von Holz, so wird man der Ebene eine Neigung von 18°, etwas mehr oder weniger nach Beschaffenheit des Holzes geben müssen, bis das Parallelepipedum von selbst anfängt, längs der Ebene hinabzugleiten. Eine Kugel von demselben Holz und Gewicht, wie das Parallelepipedum, wird da-

Digitized by Google

gegen hinabrollen, wenn die Neigung der Ebene kaum 2° beträgt. Da sich nun die Größen der Reibung wie die Tangenten der Neigungswinkel verhalten, so hat man

Tang 18° : Tang 2° = 0,32 : 0,035 wie 10 : 1

Nach Coulomb betrug diese Art der Reibung einer Walze aus Guajakholz von 6 Zoll im Durchmesser nur 0,006 und bei einer Walze aus demselben Holze von 2 Zoll, 0,018 des Druckes. Der Widerstand verhält sich umgekehrt wie der Durchmesser der Walze. Man bringt daher große Lasten soviel leichter auf den sogenannten Frictionswalzen, als ohne dieselben durch bloße Schleifen fort *).

§. 43. Um die Reibung zu bestimmen, welche ein mit gegebener Kraft gespanntes Seil, wenn es um einen Cylinder gewunden ist, erleidet, wird vorausgesetzt, daß man das Verhältniß der Reibung zum Drucke in Beziehung auf das am Cylinder fortgleitende Seil kenne. Diese Verhältnißzahl wird durch μ angedeutet.

Zur Erleichterung der Rechnung wird hier angenommen, das Seil sey um ein regulaires Polygon, dessen Querschnitt ABCDEF Fig. 29 ist, gespannt. Findet nun keine Reibung statt, so würden die an einem, um die zwei Seiten des Cylinders gespannten Seile, angebrachten gleichen Kräfte $P = Q$ einander im Gleichgewichte halten, weil die Richtung ihres mittleren Druckes gerade gegen den Mittelpunkt C′ des widerstehenden Körpers geht, und sie würden nach BK einen mittleren Druck $= 2.\ P.\ \text{Cosin}\ \frac{1}{2}\ a$ ausüben; denn, wenn BI die Größe der einen, BH die Größe der andern Kraft vorstellt, so ist BIGH das Parallelogramm der Kräfte und die Diagonale $BG = 2BI\ .\ \text{Cosin}\ \frac{1}{2}\ a$, wenn der Polygonenwinkel $ABC = a$ ist. Multiplicirt man nun diesen Druck mit μ, so ist die Reibung hier =

*) Die Frictionsrollen sind von Schmidt in seinen Anfangsgründen der Mathematik 2ter Thl. 1ste Abtheil. §. 87. S. 98 beschrieben.

Digitized by Google

2μ. Q . Cosin. $\frac{1}{2}$ a und wenn die Kraft $=$ P nicht blos die Laſt $=$ Q; ſondern auch die Reibung überwinden ſoll, ſo muß ſie P $=$ Q $(1 + 2\,\mu$. Cos. $\frac{1}{2}$ a$)$ ſeyn.

Wäre die Laſt $=$ Q erſt in D angebracht, ſo daß das Seil über 3 Seiten des Polygons ginge, ſo würde der eben gefundene Ausdruck angeben, wie ſtark das Seil in B C geſpannt werden müßte, wenn Laſt und Reibung überwunden werden ſollen. Dieſe Spannung $=$ R würde, wenn in B keine Reibung wäre, durch eine Kraft P $=$ R bewirkt werden; da aber bei B eine Reibung $= 2\mu$. R. Cosin $\frac{1}{2}$ a entſteht, ſo muß P $=$ R . $(1 + 2\,\mu$. Cosin $\frac{1}{2}$ a$) =$ Q . $(1 + 2\,\mu$. Cos. $\frac{1}{2}$ a$)^2$ ſeyn und ſo erhellet, daß

$$P = Q \cdot (1 + 2\mu \cdot \text{Cosin } \tfrac{1}{2}a)^{n-1}$$

wird, wenn das Seil um n Seiten des Polygons gelegt iſt, folglich nur um einen geringen Theil verſchieden.

Nimmt man n für die Zahl aller Polygonſeiten und ſetzt n ſehr groß, ſo iſt a wenig von 180° verſchieden, und die Formel giebt einen deſto nähern für den Kreis paſſenden Werth, je mehr Seiten man im Polygon annimmt.

Iſt das Polygon ein 360-Eck $=$ n, ſo iſt a $=$ 179°, folglich $\frac{1}{2}$ a $=$ 89° 30′. Wird nun $\mu = \frac{1}{3}$ geſetzt, ſo iſt für einen ganzen Umlauf des Seils

P $= (Q + \frac{1}{3}$Cosin 89° 30′$)$ 359 $=$ 8,031 Q

und für den Kreis $=$ 8,07, folglich nur um ein Geringes verſchieden. Wäre das Seil zweimal um einen Cylinder gewunden, alſo um 720 Seiten, ſo wäre

P $=$ 64,77 Q

für 4 Umläufe $=$ 4222 $=$ Q. Setzt man Q nun 1 ℔, ſo iſt eine Kraft von 4222 Pfunden erforderlich, um die Friction eines viermal um einen Cylinder gewundenen Seiles zu überwinden. Wäre das Seil zehnmal umgeſchlungen, ſo erfordert die Ueberwindung der Friction eine Kraft, die mehr als tauſend Millionen Mal ſo groß als die Laſt iſt.

Digitized by Google

Hieraus läßt sich leicht einsehen, warum die größern Schiffe fest am Strande liegen, wenn nur ein Ankertau etliche Mal um einen fest stehenden cylindrischen Pfahl gewunden wird. Dieser Widerstand wegen der Reibung würde schon statt finden, wenn auch das Seil vollkommen biegsam wäre, und nicht eine Veränderung seiner Krümmung noch einem neuen Widerstand entgegensetzte. Wegen der unvollkommenen Biegsamkeit des Seiles ist aber noch eine andere Vergrößerung des Widerstandes zu berücksichtigen.

Von der Steifigkeit der Seile.

§. 44. Die Steifigkeit des Seiles erfordert einen Aufwand an Kraft, sowohl um eine gerade in eine krumme Linie zu biegen, als auch, um ein gebogenes Seil gerade zu machen, und die Größe dieser Kraft hängt von der Stärke des Seils, von der Größe der daran hängenden Last und von den Dimensionen der Rolle oder Welle, um welche dasselbe gebogen wird, ab. Je größer die Scheibe und je biegsamer und dünner das Seil ist, desto geringer wird die Kraft, die zu dessen Biegung um die Rolle nöthig ist.

Die Wirkung von der Steifigkeit des Seils kann man sich auf folgende Art vorstellen.

Wird ein Seil um den Cylinder AC Fig. 30 gebogen, und die Kraft in P soll die Last Q aufwärts bewegen, so muß sich das Seil an der Stelle C krümmen. Dieser Krümmung, welche das Seil annehmen sollte, indem es sich einwärts biegen mußte, widersteht die Steifigkeit des Seiles. Das Seil drängt sich bei B etwas nach außen, indem es weniger gekrümmt bleibt, als die Krümmung des Cylinders fordert, und das Gewicht Q wird daher um so mehr von der lothrechten Linie CE abweichen, je größer die Steifigkeit des Seiles ist. Während dessen, daß die Kraft in P das Seil fortzieht, entfernt sich dieses von dem Cylinder;

Digitized by Google

allein vermöge seiner Steifigkeit hat es auch das Bestreben, die erlangte Krümmung zu behalten, und widersteht daher der Richtung des Zuges. Da indeß das gekrümmte Seil viel leichter seine natürliche gerade Richtung wieder annimmt, als das gerade Seil bei B die Krümmung, so ist die Wirkung der Steifheit bei A minder bedeutend. Man läßt daher diesen Widerstand in der Ausführung weg. Wegen der Steifheit der Seile ist es also so anzusehen, als ob die Last Q nicht in der Entfernung = DC, sondern in der Entfernung = DB vom Drehungspunkte angebracht wäre; sie vergrößert also das Moment der Last und erfordert eine größere Kraft.

Die, mittelst Erfahrungen gefundenen, Resultate über die, zu Ueberwindung der Unbiegsamkeit des Seiles nöthige, Kraft hat man in eine allgemeine Form zu bringen gesucht.

Bezeichnet demnach

d den Durchmesser der Rolle

δ den Durchmesser des Seiles

P die an dem Seile wirkende Kraft und

p die Kraft zur Ueberwindung der Steifheit des Seiles, so ist nach Fischer (Anfangsgründe der Statik und Dynamik fester Körper §. 61. S. 88)

$$p = \tfrac{3}{4} \cdot \frac{\delta}{d} \cdot P = 0{,}75 \frac{\delta}{d} P$$

Wenn also ein $\frac{1}{4}$ Zoll starkes Seil um eine Rolle geschlagen wird, deren Durchmesser 8 Zoll beträgt, und das Seil mit 400 ℔ Gewicht angespannt wird, so ist eine Kraft zur Ueberwindung der Steifheit des Seiles erforderlich, oder

$$p = 0{,}75 \cdot (\tfrac{1}{4} : 8) \cdot 400 = 28{,}12 \text{ ℔}.$$

Bei eisernen Ketten ist nach Eytelwein's Aufgaben der angewandten Mathematik S. 61

$$p = 1{,}04\, P \text{ gefunden.}$$

Digitized by Google

Nach Langsdorf ist für trockne, ungepichte Seile

$$S = \frac{\delta^{1,7}\,(2,45 + 0,053\,Q)}{r}$$

wenn S die Steifigkeit in Pfunden, Q die spannende Kraft in Pfunden, δ der Durchmesser des Seiles in Pariser Linien, und r der Halbmesser der Scheibe in Pariser Linien ist. Für stark gebrauchte Seile setzt er

$$S = \frac{\delta^{1,4}\,(2,45 + 0,053\,Q)}{r}$$

Für Seile, die ganz in Wasser getränkt sind, setzt er S größer oder kleiner, als für trockene, je nachdem ihr Durchmesser mehr oder weniger als 8 Linien beträgt.

Soll demnach bei einer Scheibe von 16″ Durchmesser mit einem 2″ dicken Taue ein 12 Centner schwerer Rammklotz gezogen werden, so beträgt hierbei die Steifigkeit über 80 Pfund, wofür kaum 2 Mann zur Ueberwältigung zureichen.

Von den Rollen, Flaschen- und Rollenzügen.

§. 45. Eine kreisförmige Scheibe (von sehr hartem Holze, Eisen, Messing u. s. w.), welche sich um eine Achse dreht, und in ein Gestelle oder Gehäuse, welches Hülse genannt wird, eingeschlossen und so eingerichtet ist, daß ein Seil frei über den Umfang der Rolle laufen kann, in welcher letztern eine halbkreisförmige Vertiefung zum Einlegen desselben und zur Verhütung seines Abgleitens befindlich ist, heißt eine Rolle, wenn sie entweder vermittelst eines in ihrem Mittelpunkte fest liegenden Bolzens in beiderseitigen Pfannen oder um einen durch ihren Mittelpunkt gehenden Bolzen beweglich ist. Durch das umgelegte Seil wird die drehende Bewegung hervorgebracht, oder Ruhe erhalten, wenn an einem Ende desselben die Last, am andern die Kraft wirkt. Der Umdrehungspunkt der Rolle ist also entweder fest oder selbst beweglich.

Die Rollen werden daher in feste und bewegliche

Digitized by Google

eingetheilt, je nachdem ihre Hülse fest ist, oder mit der Last zugleich steigt oder sinkt.

Feste oder Leitrollen werden diejenigen genannt, deren Bolzen unverändert an einem und demselben Orte bleiben, wie F Fig. 31. Bewegliche oder Zugrollen nennt man diejenigen, welche auf dem Seile liegen, und mit dem umgeschlagenen Seile zugleich gehoben werden, wie CDE. Fig. 31.

Hülse oder Scheere heißt die Vorrichtung, in welcher der Bolzen der Scheibe unterstützt wird. Am untern Theile der Scheere ist ein Haken angebracht, um die Rolle entweder als feste Rolle daran auf-, oder an ihr als Zugrolle eine Last anzuhängen.

Bei der festen Rolle ist der Mittelpunkt der Stützpunkt, bei den Zugrollen aber die Mitte des Seils, wo es den Rand der Rolle berührt.

Windet man ein gemeinschaftliches Seil um eine feste und eine bewegliche Rolle Fig. 32, so entsteht ein Rollenzug. Das Seil kann wie Fig. 32 seitwärts, oder wie Fig. 33 an der festen Rolle befestigt seyn. Eine Leitrolle F Fig. 31 und mehrere Zugrollen EDC kann man so mit einander verbinden, daß die Enden des Seils oben an einem Balken befestigt sind, und die Last Q an der untersten hängt. Wird nun in K gezogen, so erheben sich alle Rollen sammt der Last um die Höhe Fm; diese Vorrichtung nennt man einen Rollenzug der ersten Art, oder Potenzen-Flaschenzug. Die Seile hängen hier alle parallel.

Legt man drei, an der Last befestigte Seile um eine Leitrolle DA, und zwei Zugrollen EB und FC Fig. 34, so entsteht ein Rollenzug zweiter Art. Werden mehrere Rollen in einem Gehäuse vereinigt, wovon sich jede einzeln um ihren Bolzen über oder neben der andern bewegt, so nennt man diese Vorrichtung eine Flasche oder einen Kloben; werden zwei solcher Flaschen, die eine fest und die andere beweglich, mit einander verbunden, so entsteht ein Flaschenzug. Die Flaschen können aus Holz oder Metall

Digitized by Google

bestehen; ersteres wird stark mit Eisen beschlagen. An jeder Flasche muß sich oben oder unten ein starker Ring oder Haken befinden, um ein Seil daran knüpfen und sie aufhängen zu können. Die Rollen der obern Flasche werden als Leitrollen, die der unteren aber als Zugrollen betrachtet.

Werden alle Rollen über einander angebracht, so ist das ein Flaschenzug erster Art und heißt zuweilen ein Tackelfall, d. i. ein Seilfall; Fig. 35 zeigt die Befestigung des Seils an der obern Flasche, Fig. 36 die Befestigung des Seils an der untern Flasche. Die Flaschenzüge sind am gebräuchlichsten. Werden alle Rollen neben einander gestellt, so ist das ein Flaschenzug zweiter Art und kann man auch die Flaschen in zwei Balken einlassen, wovon der obere an beiden Enden aufgehangen wird. Diese Art ist vorzüglich brauchbar, um lange Werkstücke damit in die Höhe zu heben. Werden die Rollen neben und über einander gestellt, wie Fig. 37, so entsteht ein Flaschenzug dritter Art. Sind die Rollen wie in Fig. 35 und 36 über einander, so können sie nicht von gleicher Größe seyn; denn sonst würde der Zug der Seile nicht parallel gehen und sie würden sich an einander reiben. Befinden sich aber die Rollen neben einander, so erhalten sie gleiche Durchmesser, und das Seil wird gewöhnlich an einem Haken in der unbeweglichen Flasche angeknüpft. Die parallele Lage der Seile erfordert weniger Aufwand von Kraft als jede andere, und sie wird am leichtesten erreicht, wenn die Rollen immer um die Halbmesser der kleinsten zunehmen. Um die kleinsten Rollen wird das Seil zuerst geschlungen. Eine große Anzahl Rollen vermindert die Last, der Zug geht aber sehr langsam vor sich.

§. 46. Zum Aufwinden der Balken braucht man einen Richtbaum, Fig. 38, welcher unten durch Schwellen und Streben, dann in mehreren Punkten durch Taue an Pfeilern oder sonstigen festen Mauerpunkten befestigt, oben an der Spitze mit einem, mehrere Schuh vorstehenden, ein-

Digitized by Google

gezapften Holze durch eine Strebe unterstützt ist, das zum Einhängen der Flasche dient. Der Richtbaum muß eine solche Höhe haben, daß beide Flaschen sich nicht berühren, sondern um 2 Fuß von einander bleiben, wenn die Last zur gehörigen Höhe gekommen, damit keine Beschädigung oder Zerreißung entstehen kann.

Es giebt noch mehrere Arten von Richtbäumen, Fig. 39 und Fig. 40 stellen noch zwei andere dar. Ein Baum von 37 — 38′ Länge unten bei B Fig. 39 etwa 10 — 12″ dick, steht verzapft in einer Schwelle B; bei A halten ihn 2 — 4 Seile gg, Spannseile genannt, in der senkrechten Stellung, welche oben unterhalb A so angebunden werden, daß sie nicht vom Richtbaum abgleiten, sondern nach dem Boden gehen, wo sie an schräg eingeschlagenen Pfählen oder auch an Erdwinden befestigt werden. Wie ein Zimmerholz mittelst eines solchen Richtbaums durch Anwendung der Flaschen C, D, E, F und des Haspels H in die Höhe gehoben wird, zeigt die Figur.

Der Richtbaum Fig. 40 ist 54 — 55′ hoch an der Schwelle, in die er eingezapft ist, 14 — 15″ dick, und mit Sprossen besetzt, damit man ihn bequem besteigen könne. Er hat zwei, in dieselbe Schwelle eingelassene Stützbäume oder Scheeren ee, welche mit Querhölzern verbunden sind. Unten sind 4 Haspelstützen ffff angebracht, und durch die Kreuzhaspel werden die Seile der Flaschenzüge angezogen. An der Spitze A wird er, wie die ersten, mit Spanntauen am Boden befestigt.

Scheerentackel sind die einfachsten Gestelle für Rollen und Flaschenzüge. Man bindet 3 starke Stangen oben zusammen, hängt die Rolle oder obere Flasche daselbst auf und zieht die Last damit in die Höhe. Sie werden gewöhnlich da gebraucht, wo man einer solchen Vorrichtung schnell bedarf und nur mäßige Lasten zu heben sind. Für bedeutendere Lasten hat man einen Hebebock. Wie dergleichen Richtbäume oder Scheeren auf mancherlei Arten in dem ihnen zu gebenden Stand gehalten werden, dies zeigen

Digitized by Google

Fig. 41, 42 und 43, welche letztere Vorrichtung aus einem feſten Zimmerwerke beſteht, zwei Kreuzhaſpel hat, und ein doppelter Hebebock heißt.

Ein Kranich (Krahn, Kraan), iſt ein Richtbaum zum Drehen eingerichtet. Der oben vorſtehende Schnabel, an dem der Kloben hängt, heißt Kraanbraake. Große Laſten werden dabei durch Haſpel, Treträder u. ſ. w. gehoben. Der Rondeletſche, den Hatchette (Traité élémentaire des machines) beſchrieben und abgebildet hat, iſt einer der vorzüglichſten.

Holnborn hat einen Krahn beſchrieben, der ſich ſelbſt regelt. (Man ſehe Dingler's polytechniſches Journal, 2ter Band. 1820.)

§. 47. Wenn auch Hamilton und Andere der Meinung geweſen ſind, daß die Rolle eigentlich nicht als ein Hebel irgend einer Art angeſehen werden könne, ſo haben doch mehrere Schriftſteller, als Langsdorf (Grundlehren der mechaniſchen Wiſſenſchaften), Eytelwein (Handbuch der Statik und Mechanik) u. a. m., — deren belehrende Werke wir mit Beſeitigung aller auf die höhere Analyſis gegründeten Beweiſe zum Grunde legen — die Natur und Wirkungen der Rolle von dem Hebel hergeleitet, indem ſie die feſte Rolle als einen Hebel der erſten Art und die bewegliche als einen der zweiten Art angeſehen haben.

Gregory (S. deſſen Darſtellung der mechaniſchen Wiſſenſchaften, 1ſter Band, aus dem Engliſchen von Dietlein überſetzt) ſagt: „Eine der einfachſten und natürlichſten Arten, die Kraft zu berechnen und die Wirkungen der Rolle zu erklären, iſt die, zu bedenken, daß jede bewegliche Rolle an zwei gleich geſpannten Theilen deſſelben Seiles hängt, die daher auch gleiche Theile der Laſt tragen müſſen; daß mithin, wenn daſſelbe Seil um mehrere feſte und bewegliche Rollen geſchlagen iſt, weil es überall gleich geſpannt iſt, die ganze Laſt unter alle die Seile gleichmäßig vertheilt werden muß, an welchen die beweglichen Rollen hängen, und daß folglich eine Kraft, die ſo groß iſt, als

Digitized by Google

die Last, dividirt durch die Anzahl der Seile die Last erhalten muß." Dieser Grundsatz kann auf viele vorkommende Fälle sehr leicht angewandt werden, vorzüglich, wenn die Seile beinahe gleichlaufend sind.

§. 48. Wenn um eine in C Fig. 44 an einem festen Bolzen bewegliche feste Rolle oberhalb ein Seil geschlagen wird, an welchem die Kraft und Last P und Q senkrecht wirken, so ist der Durchmesser AB als ein zweiarmiger Hebel anzusehen, dessen Stützpunkt das Centrum ist. Da nun die Hebelarme gleich sind, so steht $P = Q$ im Gleichgewichte. Es wird also, die Steifigkeit und Reibung des Seiles abgerechnet, für die Kraft nichts gewonnen, sondern blos für die beliebige Richtung derselben. Der allgemeine Lehrsatz, daß die Kraft der Last im Zustande des Gleichgewichts gleich sey, wenn die Richtung einer Kraft mittelst einer Leitrolle verändert wird, möge die Richtung der Kräfte seyn, welche sie wolle, läßt sich auf folgende Art beweisen. Wirken die Kraft P und die Last Q nach den Richtungen BP und CQ, Fig. 45, und verlängert man diese beiden Richtungen, bis sie sich in D schneiden, zieht dann auf B und C die Halbmesser AB und AC, so bilden selbige mit den Richtungen DP und DQ rechte Winkel, folglich ist das Moment $AB \cdot P = AC \cdot Q$ und weil $AB = AC$, so ist $P = Q$.

§. 49. Wirken die Kräfte wie in Fig. 44 nach parallelen Richtungen, so ist der Druck auf den Umdrehungspunkt C gleich der Summe der beiden an der Leitrolle senkrecht wirkenden Kräfte.

Machen die Richtungen der beiden Kräfte einen Winkel, wie in Fig. 45, so ist der Druck auf den Umdrehungspunkt gleich dem Producte der Kraft und der Sehne des Bogens, mit welchem das Seil in Berührung ist, in dem Halbmesser getheilt; denn wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke ABD und ACD verhält sich

$$BD : DC = P : Q$$

Ziehe man nun BR mit DC und CR mit BD paral-

Digitized by Google

lel, ſo entſteht das Parallelogramm RBDC, folglich iſt DR als Mittelkraft anzuſehen, und DR theilt die Sehne BC rechtwinkelig in zwei gleiche Theile. Es iſt daher der Druck auf A

$R = P \,.\, \text{Cosin}\, a + Q \,.\, \text{Cosin}\, \beta = (P + Q) \,.\, \text{Cosin}\, \tfrac{1}{2}$ PDQ und da $P = Q$ folglich

(A) $R = 2P \,.\, \text{Cosin}\, \tfrac{1}{2}$ PDQ

Wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke AEB und BED verhält ſich

$AB : BE = 1 : \text{Cosin}\, ABE$ und da der Winkel $ABE = \angle BDE = a = \tfrac{1}{2}$ PDQ ſo iſt

$\text{Cosin}\, \tfrac{1}{2}\, PDQ = \dfrac{BE}{AB}$ daher, wenn dieſer Werth in (A) ſubſtituirt wird, iſt der Druck auf den Punkt A

$R = \dfrac{2BE}{AB} \,.\, P = \dfrac{BC}{AB} \,.\, P$ wenn die Scheibe ohne Schwere betrachtet wird. Wöge aber dieſelbe P′ ℔, und die Richtung der Mittelkraft DR wäre, wie in Fig. 45, ſenkrecht, ſo erleidet der Punkt A einen Druck

$R = 2P \,.\, \text{Cosin}\, \tfrac{1}{2}\, PDQ + P'$

Wäre es aber der Fall, daß die Kraft P Fig. 46 in horizontaler, und die Laſt Q in verticaler Richtung wirkt, ſo erfolgt der Druck von P und Q in der mittlern Richtung DE, vom Gewichte der Rolle P′ aber in der verticalen Richtung AF. Da nun die beiden Seitenkräfte AE und AF und der Richtungswinkel EAF bekannt ſind, indem $AE = R$, deſſen Werth oben gefunden iſt, und $AF = P'$, ferner der Richtungswinkel $EAF = EDQ = \tfrac{1}{2}$ PDQ $= \tfrac{1}{2}\delta$, ſo findet man mittelſt gehöriger Subſtitution ſehr leicht den Druck der Kräfte P, Q und P′ auf den Punkt A in der Richtung AR

$$= \sqrt{4P \,.\, (\text{Cosin}\, \tfrac{1}{2}\delta)^2 \,.\, (P + P') + P'^2}$$

§. 50. Die an einer Zugrolle wirkenden Kräfte ſind im Gleichgewichte, wenn ſich die Kraft zur Laſt, wie der Halbmeſſer der Rolle zur Sehne des Bogens verhält, mit welcher das Seil in Berührung iſt.

Digitized by Google

Um die Rolle sey das Seil SBAP Fig. 47 geschlagen, welches mit dem einen Ende an einem festen Punkte S befestigt und an dessen anderem Ende die Kraft P wirkt. Wird nun die horizontale Sehne AB zwischen die Berührungspunkte A und B gezogen, so kann man diese Sehne als einen Hebel betrachten, an welchem B der Stützpunkt, A der Angriffspunkt der Kraft, P und D der Angriffspunkt der Last Q ist. Wird aus B normal auf die Direction der Kraft PF die Linie BE und die verticale Linie CF, welche letztere sowohl den Winkel AFB, als die Sehne AB in zwei gleiche Theile theilt, gezogen, so sind BD und BE die Entfernung der Richtungslinien beider Kräfte vom Drehpunkte B. Man hat also für den Zustand des Gleichgewichtes

$$P : Q = BD : BE = AD : BE = \tfrac{1}{2}AB : BE \text{ oder}$$
$$2P : Q = AB : BE$$

Ziehe man AC auf den Berührungspunkt A, so ist CA wegen der tangirenden Linie PA normal auf letztere, und daher AC parallel mit BE, woraus folgt, daß

$\angle ACD = \angle ABE$, also $ACD \infty ABE$ ist.

Es verhält sich demnach

$$AD : AC = BE : AB \text{ oder}$$
$$AD : BE = BC : AB \text{ und da}$$
$$AD : BE = P : Q \text{ folglich}$$
$$(A)\quad P : Q = AC : AB$$

§. 51. Wenn an einer Zugrolle Kraft und Last nach lothrechten Richtungen wirken, so verhält sich im Zustande des Gleichgewichts die Kraft zur Last = 1 : 2. Nach (A) des vorhergehenden §. verhält sich

$$P : Q = AC : AB \text{ oder}$$
$$P : Q = r : AB$$

wenn r den Halbmesser der Rolle bedeutet. Da nun für diesen Fall die Richtungen der beiden Kräfte wie in Fig. 48 gleichlaufend sind, so wird die Sehne $AB = 2r$ daher

Digitized by Google

$$P : Q = 1 : 2 \text{ und}$$
$$P = \tfrac{1}{2} Q$$

Wird also das Seil in P in die Höhe gezogen, so wird die an der Zugrolle hängende Last, mit dieser, von der Hälfte der Kraft und einem kleinen Uebergewichte gehoben werden können; aber die Geschwindigkeit der Kraft wird doppelt so groß als die der Last; denn wenn der Punkt C Fig. 48, woran das Gewicht hängt, bis c oder AB bis ab gehoben werden soll, so muß das Seil BS um $bB = cC$, so wie das Seil AP um $Aa = cC$, mithin um $2cC$ in der Richtung AP verkürzt werden. Es wikkelt sich also doppelt so viel Seil ab, als der Weg der bewegten Last beträgt. **Daher verhalten sich, nach dem Carteſianiſchen Geſetze, Kraft und Laſt für das Gleichgewicht umgekehrt, wie ihre Wege bei erfolgter Bewegung.**

§. 52. Aus dem Vorhergehenden läßt sich sehr leicht bei der Anwendung eines Rollenzuges die Größe der Kraft K zur Ueberwindung einer Last $= Q$ Fig. 31, deſſen Größe nebſt der Anzahl der beweglichen Rollen $= n$, und dem Gewichte einer Rolle $= G$ gegeben ſey, für das Gleichgewicht beſtimmen.

Vermöge der Theorie der beweglichen Rolle wird die Laſt mit jeder Zugrolle um die Hälfte erleichtert; demnach gewinnt man

durch $Cm = \frac{1}{2}$
$Dm' = \frac{1}{4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}$
$Em'' = \frac{1}{8} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4}$

Da nun die Laſt Q bei der Anwendung eines Rollenzuges von 3 beweglichen Rollen, um $\frac{7}{8}$ erleichtert wird, und $8 = 2^3$ iſt, ferner bei der Anwendung von 2 beweglichen Rollen die Laſt um $\frac{3}{4}$ erleichtert wird, und $4 = 2^2$ iſt, ſo wird im Allgemeinen, wenn auf das Gewicht der Rollen keine Rückſicht genommen wird, die Laſt um ſo viel erleichtert, als diejenige Potenz der Zahl 2 ausmacht, welche

die Zahl der Zugrollen angiebt. Für n bewegliche Rollen wäre demnach die Kraft des Gleichgewichts

$$K = \frac{Q}{2n}$$ daher der Name Potenzen-Flaschenzug. Bei der Anwendung eines solchen Rollenzuges der ersten Art muß immer das Gewicht der Rollen selbst zur Last berechnet werden. Werden die Rollen gleich schwer angenommen, so hat für das Gleichgewicht eine an K Fig. 31 wirkende Kraft die Last $(Q+G)$ zu erhalten; daher nach dem vorhergehenden §

$$K = \tfrac{1}{2}\,(Q+G)$$

Da das Ende des Seiles Km an der Hülse der Rolle D befestigt ist, so trägt der Bolzen dieser Rolle $\frac{1}{2}(Q+G)$ und das Gewicht von D, nämlich

$$\tfrac{1}{2}(Q+G) + G.$$

Folglich muß für das Gleichgewicht an dem Seilende m′K′ eine Kraft

$$K' = \tfrac{1}{2}\,[\tfrac{1}{2}(Q+G)+G] = \tfrac{1}{2}\,2Q + [\tfrac{1}{2}\,2 + \tfrac{1}{2}]\,G$$

wirken. — An der Hülse der Rolle E hängt K′, daher der Bolzen derselben die Last

$$K' + G = \tfrac{1}{2}\,2Q + [\tfrac{1}{2}\,2 + \tfrac{1}{2} + 1]\,g$$

zu tragen hat, wozu die an dem Seilende m″ k″ wirkende Kraft

$$K'' = (\tfrac{1}{2}^3\,Q + (\tfrac{1}{2}^3 + \tfrac{1}{2}^2 + \tfrac{1}{2})\,G)$$

für das Gleichgewicht erforderlich ist. Werden nun die eingeschlossenen Glieder zusammengebracht, so werden wir daraus leicht ersehen, daß für n bewegliche Rollen die Kraft des Gleichgewichts wäre

$$(A)\quad K = \tfrac{1}{2}\,n\,Q + \left(\frac{1-1}{2^n}\right) G = \frac{(Q-G)}{2^n} + G$$

Die obere Rolle F als bloße Leitrolle trägt zum Vortheile der Kraft nichts bei. Es ist daher gleichgültig, ob die Kraft an dem Seilende aufwärts oder an dem über die Rolle geschlagenen Seile unterwärts wirkt.

Wenn auf Seilbiegung Rücksicht genommen werden

Digitized by Google

soll, so ist nach §. 44 die zur Ueberwindung ihrer Unbiegsamkeit erforderliche Kraft

$p = 0,75 \frac{\delta}{d} \cdot P$ wenn also statt p, K und statt P der gefundene Werth von K gesetzt wird, so erhält man für sämmtliche n Rollen

$$K = 0,75 \frac{n\delta}{d} \cdot \left(\frac{(QG)}{2^n} \right) + G$$

Aus der Gleichung (A) kann die Zahl der beweglichen Rollen, welche eine gegebene Last mittelst einer bestimmten Kraft im Gleichgewichte erhalten sollen, durch Reduction gefunden werden, wenn die Last = Q, das mittlere Gewicht einer Rolle = G und die zum Gleichgewichte erforderliche Kraft = K gegeben sind.

$$n = \frac{\text{Log } (Q-G) - \text{Log } (K-G.)}{\text{Log } 2.}$$

§. 53. Bei der Anwendung eines Rollenzuges zweiter Art (Fig. 34) kommt das Gewicht der Rolle der Kraft zu gute, wodurch der Vortheil vermehrt wird. Die ganze Last hängt aber an der Befestigung der obern Rollen, daher diese sehr sorgfältig geschehen muß. — Denke man sich die Last Q nach der Anzahl der Rollen in 3 Theile getheilt; bei der Rolle C ist die Kraft und Last einander gleich F = K; dieses wird von B getragen, also trägt B die doppelte Last = 2 Q = 2 K; es steht aber B mit E im Gleichgewichte und A trägt E + B = 4 K = 4 Q.

Es ist demnach A = 4K
B = 2K
C = 1K
zusammen 7K, oder es reicht $\frac{1}{7}$K hin, um Q zu heben u. s. w. je nachdem eine Rolle mehr hinzukommt. Für n Rollen wäre demnach die Kraft des Gleichgewichts im Allgemeinen

$$K = \frac{Q}{2^{n-1}}$$

Auch hier stehen die Wege der Kraft und Last im um-

Digitized by Google

gekehrten Verhältniß, und man verliert an Zeit, was man an Kraft gewinnt.

§. 54. Wenn an einem Flaschenzuge eine Last $= Q$ an der untern Flasche hängt, so ist für den Zustand des Gleichgewichtes allemal die Last auf diejenigen Seile vertheilt, an welchen die untere Flasche hängt.

Bei dem Flaschenzuge Fig. 35 wird die Last von 4 Seilen getragen, die durch selbige gleiche Spannung erhalten. Deshalb vertheilt sich die Last unter diese 4 Seile und jedes trägt.

$\frac{1}{4}(Q+G) = K$, wenn K die Kraft und G das Gewicht der beweglichen Flasche bezeichnet.

Aus demselben Grunde muß an der Figur 36 jedes Seil mit der Kraft $\frac{1}{5}(Q+G)$ gespannt seyn, weil bei diesem Flaschenzuge die Last von 5 Seilen getragen wird. Das Seil EK Fig. 35 und FK Fig. 36 hat keinen Einfluß zum Vortheile der Kraft, weil es gleichgültig ist, in welchem Punkte desselben die Kraft wirkt, daher in Fig. 36

$$\frac{1}{5}(Q+G) = K$$

Allgemein dividire man die Last sammt dem Gewichte der untern Flasche durch die Anzahl der tragenden Seile $= n$ für den Zustand des Gleichgewichts. Demnach ist

$$K = \frac{1}{n}(Q+G)$$ ohne auf Seilbiegung zu sehen. Wird darauf Rücksicht genommen, so erhält man, wenn m die Anzahl der Seilkrümmungen bezeichnet

$$K = 0{,}75\,\frac{m\delta}{d}\left(\frac{1}{n}(Q+G)\right)$$

Anmerk. Marechaux hat einen neuen Flaschenzug, Fig. 49, mit concentrischen, eisernen, hölzernen oder messingenen, als die einfachsten und solidesten Rollen, in Dinglers polytechnischem Journal, 2ter Bd. S. 14 beschrieben, dessen Erfinder der Schiffslieutenant Schuldham ist. Die Vorzüge dieser Einrichtung sind

1) daß die Achse in den Rollen selbst befestigt ist, so daß die beiden Zapfen sich frei in den Backenstücken der Hülse auf Pfannen bewegen; bei gewöhnlichen Flaschenzügen dreht die Rolle sich auf ihrer Achse;

Digitized by Google

2) daß die Achſe auf kleinen Rollen von Gußeiſen ruht, wodurch die Reibungen vermindert werden;
3) daß der ganze Flaſchenzug aus einer einzigen Rolle mit mehreren concentriſchen Einſchnitten beſteht, mit der beſondern Einrichtung, daß anſtatt eines Seiles, zwei von einander getrennte angebracht werden können, was die Arbeit beim Gebrauche erleichtert und die Reibung des Seiles vermindert. Da die Wirkung dieſer Seile auf den Mittelpunkt des Flaſchenzuges gerichtet iſt, ſo bleiben ſie immer geſpannt, und weil ſie dünn und biegſam ſind, ſo legen ſie ſich beſſer in die Einſchnitte und verlaſſen ſie nicht leicht;
4) daß die Durchmeſſer der Rollen nach der Menge der Seile gerichtet werden können.

Ein Gewicht von 16 ℔ hält das Gleichgewicht mit einem andern Gewichte, das nur 1 ℔ wiegt. Der Grundſatz, auf welchem dieſe Einrichtung beruhet, iſt: wenn man vorausſetzt, daß die auf einander folgenden Rollen von demſelben Durchmeſſer ſind, ſo wird, wenn die erſte ſich einmal um ihre Achſe dreht, die zweite ſich um die ihrige zweimal, die dritte dreimal u. ſ. w. drehen. Aber ſie würde ſich nicht öfter umdrehen, wenn ihr Umfang vom Mittelpunkte aus berechnet nach derſelben Proportion zunähme, und gerade dieſes geſchieht an Schuldhams Flaſchenzug. Nimmt man den Durchmeſſer der erſten Rolle mit dem des Seiles zur Einheit, ſo wird derſelbe Durchmeſſer doppelt für die zweite Rolle, dreifach für die dritte, und ſo fort bis zur letzten Rolle, von welcher das Seil abgeht, um die Wirkung der bewegenden Kraft zu erfahren. Daher hat der Erfinder mit Recht geſchloſſen, daß dieſe Rollen aus einem einzigen Stücke bearbeitet werden könnten, da mit einer Achſenumdrehung das Seil an demſelben eben den Weg zurücklegt, als unter der obigen Vorausſetzung. Indeß muß bei der Beſtimmung der Durchmeſſer die größte Genauigkeit beobachtet werden, auch müſſen die Seile, wie man ſie nimmt, von gleichem Durchmeſſer erwählt werden.

Vom Rade an der Welle.

§. 55. Eine kreisförmige Scheibe, ſo an einem Cylinder befeſtigt, daß des Cylinders Achſe durch den Mittelpunkt der Scheibe geht und auf ihrer Ebene ſenkrecht ſteht, heißt ein Rad an der Welle, oder eine Radwelle, auch Rad und Achſe, indem der Cylinder die Welle oder Achſe ge-

Digitized by Google

nannt wird. An beiden Enden der Welle sind Zapfen in der Richtung der Achse angebracht, welche sich in Pfannen oder Zapfenlagern herumdrehen. Die Kraft ist im Umfange des Rades gewöhnlich in der Richtung der Tangente des Angriffs- oder Berührungspunktes angebracht, und um die Welle ist ein Seil gewickelt, um den Widerstand zu überwinden oder die Last zu heben.

Diese Radwelle wird zuweilen, sehr passend, der beständige Hebel genannt; denn durch einfache Zerlegung findet man, daß sie nur als eine ununterbrochene Reihenfolge von Hebeln der ersten Art wirkt. Nimmt man den Radius des Rades als den längern Arm des Hebels und den der Welle als den kürzern an, so hat man einen Hebel der ersten Classe. Da nun diese zwei Bestandtheile rund sind, so bilden deren Halbmesser eine unendliche Anzahl von Hebeln, die bei der Umdrehung des Rades sämmtlich nach einander in Thätigkeit kommen. Die effective Kraft von Rad und Achse muß daher eben so berechnet werden, als die eines Hebels der ersten Art, indem die Kraft so wie der Raum, den dieselbe zu durchschneiden hat, in demselben Verhältniß wächst, wie der Radius des Rades größer wird als der der Welle.

Die Radwelle hat den Vorzug vor dem bloßen Hebel, daß bei der fortdauernden Umdrehung des Rades die Last sich auf jede Höhe oder aus jeder Tiefe heben läßt, während sie vom Hebel nur durch einen kleinen Raum bewegt werden kann.

Es giebt mehrere Arten der Radwellen, die ihre Benennung von dem Gebrauche erhalten, zu welchem sie bestimmt sind; allein die Wirkung der Kraft und Last nach dem Verhältniß ihrer Hebelarme bleibt unverändert.

Wenn die Welle, auf der sich ein Seil entwickelt, worin eine Last hängt, eine liegende oder horizontale Lage hat, so wird sie ein Haspel genannt. Steht dieselbe vertical, so heißt sie eine Winde.

Digitized by Google

§. 56. Die verschiedenen Arten von Haspel sind folgende:

1) der Kreuzhaspel, Fig. 50, eine wagerechte Welle, durch welche 2 oder 4 Hebelarme vertical ins Kreuz durchgesteckt sind, an deren Enden Menschen anfassen. Die Figur zeigt, wie das Gestell einzurichten ist, und wie die Haspelstützen mittelst Streben auf dem Geschwelle zu befestigen sind. Die Welle muß vollkommen cylindrisch, und an den Enden mit eisernen Ringen und Zapfen beschlagen seyn; die Pfannen sind am besten von Messing, können aber auch von Eisen seyn. Das Geschwelle mag aus 8″ — 10″ breiten und 6″ — 8″ dicken Hölzern bestehen; die Haspelstützen mache man aus 6 — 8 zölligem Holze 3′ — 4′ hoch. Die Welle, auch Rundbaum genannt, wird 6 — 8 — 10″ im Durchmesser und so lang, daß das Seil sich wo möglich nicht über einander wickelt. Von gutem Eisen brauchen die Zapfen nicht dicker als ein Zoll zu seyn. Die Hebel dürfen so lang seyn, daß sie unten durchpassiren können, also etwa 3′ und müssen von festerem Holze seyn; das Seil wird gewöhnlich dünner als 1″ seyn können.

Nach der Erfahrung können 4 Mann bei 6′ Speichenlänge und 8″ Wellendicke 800 ℔ in der Minute 12′ hoch fördern.

2) Der Hornhaspel Fig. 51 A, eine wagerechte Welle mit Kurbel an einem oder beiden Enden. Das mit einem Zapfen damit verbundene, gewöhnlich rechtwinklig gebogene Eisen m heißt die Kurbel (das Horn). Sind zwei doppelte Kurbeln, wie Fig. 51 B, so können an jeder derselben 2 Mann anfassen, und der Haspel wird viermännisch genannt. Man hat auch dreimännische Haspel, wo die eine Kurbel doppelt, die andere einfach ist; der einmännische hat eine einfache Kurbel, der zweimännische zwei einfache. Die Zapfen der Welle laufen in Einschnitten bb, Fig. 51 A, der Ha-

Digitized by Google

spelstütze cc, worein zuvor das Pfad oder Pfadeisen eingelegt wird. Die Haspelstützen stehen auf einem Gevierе, wovon die kurzen Hölzer dd, ee, die Pfahlbäume, die längern de aber die Hängbäume heißen. Die Welle ist eine Lachter (6′) lang, 9 — 12″ dick; die Höhe der Haspelstützen vom Fußboden bis zum Pfadeisen beträgt ⅔ der Länge des Haspelknechtes. Das Horn hat das Knie (den Bug, Arm) ms und den Griff mn 22″ lang, ¼″ dick von Eisen.

Mehrere Kniee müssen unter dem gehörigen Winkel angebracht seyn. Dieser beträgt

1) beim zweimännischen Haspel		135°
2) = dreimännischen	=	120°
3) = viermännischen	=	90°

3) Der Radhaspel, Fig. 52, eine horizontale Welle CD, an deren beiden Enden sich die Zapfen EF befinden, die sich in den unbeweglichen Stücken Zimmerholz HF, AE drehen.

Die Last w wird vermittelst eines um die Welle geschlagenen Seils erhoben, und die Kraft ist am Rade SSB angebracht, entweder vermittelst des Seiles P oder der Handgriffe SSS. Sind die Arme nach der Richtung des Halbmessers des Rades angebracht, so wird diese Maschine Hornrad genannt; sind die Arme oder Spillen am Umfange des Rades mit der Welle gleichlaufend angebracht, so heißt sie ein Spillrad. Hat das Rad am Umfange auf dem Kranze oder auf der Stirn eiserne Zacken, worein eine umgelegte Kette ohne Ende eingreift, so wird die Maschine das Kettenrad genannt.

Soll ein Radhaspel durch das Gewicht von Menschen oder Thieren bewegt werden, so werden an dem äußern oder innern Umfange des Rades, das 12′ — 24′ im Durchmesser seyn muß, Tritte oder Leisten angebracht, auf welche Menschen oder Thiere hinaufzusteigen sich bemühen, um durch ihr Gewicht das Rad

Digitized by Google

in Bewegung zu setzen. Die erste Einrichtung, bei welcher die Welle eine schiefe Stellung gegen den Horizont erhält, heißt ein Tretrad, die andere ein laufend Rad.

Werden die Haspel durch Wasserräder in Bewegung gesetzt, so erhalten sie die Einrichtung, daß das Wasser vorwärts und rückwärts laufen kann *).

§. 57. Die verschiedenen Arten von Winden sind folgende:

1) der gemeine Göpel, Fig. 53, ist eine senkrecht stehende Welle, welche vermittelst ins Kreuz durchgesteckter Hebebäume AB, CD durch Zug oder Druck von Menschen in Bewegung gesetzt wird. Die Last kann vermittelst des Seiles, das sich um 1 oder 2 Rollen G und I windet, vertical oder horizontal fortbewegt werden.

2) Der Pferdegöpel, Fig. 54, ist ein verticaler Wellbaum, welcher durch einen Schwengel, an dem ein Pferd oder mehrere ziehen, umgedreht wird. Die Figur zeigt deutlich die Bauart. Uebrigens hat Poda im bergmännischen Journal 1792 eine Beschreibung und Abbildung vom Pferdegöpel gegeben.

3) Die Erdwinde, Fig. 55, ist ein senkrecht stehender Kreuzhaspel. Die Welle (hier der Tummelbaum genannt) wird bewegt, indem die Haspler im Kreise umlaufen. Die Lasten werden vermittelst des Seiles, das sich unterhalb der Druckstangen auf die Welle oder den Tummelbaum wickelt, ohne über eine Rolle zu gehen, horizontal fortbewegt. (M. s. Leupold Theatr. machin. Tab. XX.)

---

*) Man sehe hierüber Lempes Lehrbegriff der Maschinenlehre, Leipzig 1795; Leupold Theatr. machin., Poda Beschreibung der beim Bergbau zu Schemnitz in Nieder-Hungarn errichteten Maschinen.

Digitized by Google

§. 58. Wenn beim Rade an der Welle die Kraft normal auf den Halbmesser des ersteren wirkt, und die Last ebenfalls normal auf den der letztern, so wird, ohne Reibung und Seilbiegung zu berücksichtigen, Gleichgewicht stattfinden, wenn Kraft und Last sich umgekehrt verhalten, wie die Halbmesser, an denen sie wirken.

Es sey Fig. 56 ein lothrechter Querschnitt der Maschine normal auf deren Achse, und weil das Bestreben der Last, die Welle um ihre Achse zu drehen, dasselbe ist, in welcher Stelle der (Oberfläche der) Welle sie auch angebracht seyn mag, so nehme man an, daß sowohl P die Kraft als Q die Last und A und B in einer auf die Drehachse normalen Ebene angebracht seyen. Denn mag die Kraft P in A oder in A′ wirken, so würde, da sie normal auf die Halbmesser CA, CA′ wirkt, und die Last Q normal auf den Halbmesser der Welle CB, offenbar ACB sowohl, als A′CB als Hebel betrachtet werden können, deren Stützpunkt in C liegt. Folglich verhält sich

(A) $P : Q = CB : CA$

Bezeichnet

a den Halbmesser des Rades
b = = der Welle

so verhält sich $P : Q = b : a$ folglich

$aP = bQ$ hieraus

1) $P = \frac{b}{a} . Q$ 2) $Q = \frac{a}{b} . P$

3) $a = \frac{Q}{P} . b$ 4) $b = \frac{P}{Q} . a$

Die Kraft $P = \frac{b}{a} . Q$ wird die auf den Kraftpunkt A reducirte Last Q, so wie $Q = \frac{a}{b} . P$ die auf den Laspunkt B reducirte Kraft P genennt.

Wirkt die Kraft nach einer andern Richtung als nach der Tangente, z. B. nach A′P″, so ziehe man die Linie CD normal auf die Richtung der Kraft; dann ist

Digitized by Google

$$P : Q = CB : CD$$

Da nun CD stets kleiner ist, als CA, so ist es klar, daß die Richtung nach der Tangente die vortheilhafteste ist, in der die Kraft angebracht werden kann. Aus (A) folgt auch, daß

$$CA . P = CB . Q$$

hieraus folgt, daß, wenn die Kraft veränderlich ist, und der Durchmesser des Rades in demselben Verhältnisse zunimmt, als die Kraft abnimmt, und umgekehrt, die Wirkung auf die Umdrehung des Rades sich nicht ändert.

Wirken mehrere Kräfte gleichzeitig an jedem Handgriffe des Rades, deren Richtungen normal auf die dazu gehörigen Halbmesser sind, so wird Gleichgewicht stattfinden, wenn die Summe der Momente der Kräfte dem Momente der Last gleich ist.

Wenn Kraft und Last vermittelst Seilen wirken, und diese haben im Verhältniß zur Welle eine bemerkliche Dicke, so wird Gleichgewicht stattfinden, wenn sich die Kraft zur Last verhält wie die Summe der Halbmesser der Welle und des Seils zur Summe der des Rades und des Seils. Es muß also jedesmal die halbe Stärke des Seils zu dem Halbmesser der Welle und ebenfalls zu dem Halbmesser des Rades, wenn solches mittelst eines Seiles in Bewegung gesetzt wird, addirt werden.

Da das Rad in gleicher Zeit seinen Umfang durchläuft als die Welle und die Peripherie der Kreise sich wie ihre Halbmesser verhalten, so stehen auch hier die Wege der Kraft und Last im umgekehrten Verhältniß.

§. 59. Sollen die bei einem Haspel der Kraft nachtheilig wirkenden Hindernisse in Rechnung gebracht werden, so muß das Moment der wirklichen Last dem Momente der Kraft gleichgesetzt, und hieraus die Kraft des Gleichgewichtes bestimmt werden.

Die ganze Last Q, welche durch die Kraft im Gleichgewichte erhalten werden soll, besteht

1) aus dem Gewichte der zu hebenden Masse = M

2) aus dem Gewichte jedes Gefäßes oder Kübels = m, wenn welche vorhanden sind;
3) aus der Kraft, die zur Ueberwindung der Steifheit des Seiles anzuwenden ist = M′
4) aus der Kraft, die zur Ueberwindung der Reibung an dem Zapfen der Welle gebraucht wird = M″

folglich ist die ganze Last

$$Q = (M + M' + M'')$$

Der Werth dieser einzelnen Größen läßt sich leicht aus dem Vorhergehenden berechnen.

Weil die Last am Umfange der Welle, die Kraft P aber am Umfange des Rades oder am Ende des Kurbelarmes wirkt, so ist nach §. 58 (1)

$$P = \frac{b}{a} \cdot Q$$ in welcher Gleichung a den Halbmesser des Rades oder die Länge der Kurbel ms Fig. 51, welcher hier den Halbmesser des Rades vorstellt, und b den um die halbe Seilstärke vermehrten Halbmesser der Welle bezeichnet. Wird nun der eigentliche Werth $b = \frac{D + \delta}{2}$, wenn D den Durchmesser der Welle und δ die Stärke des Seiles bezeichnet, hierein gesetzt, so erhält man

$$P = \frac{D + \delta}{2a} \cdot Q$$, folglich ist im Zustande des Gleichgewichts $P = \frac{D + \delta}{2a} (M + M' + M'')$

Um nun zu erfahren, ob die Kraft der anzubringenden Haspelknechte hinreichend ist, die Last aufzuwinden, so theilt man den gefundenen Werth von P mit der Anzahl der Haspelknechte.

Es wird hier bemerkt, daß das Moment der Kraft nicht gleichförmig wirkt, wenn die Welle durch eine Kurbel in Bewegung gesetzt wird, denn wenn der Griff der Kurbel A Fig. 57 ungefähr der Schulter des Menschen gleich steht und horizontal nach der Tangente Aa fortgeschoben werden soll, so besitzt der Mensch fast gar keine Kraft;

Digitized by Google

ſobald aber der Halbmeſſer der Kurbel in die Lage B unter einem Winkel von 60° gegen den Horizont gekommen, ſo kommt das Gewicht des Körpers zu Hülfe bis C, wo die Kraft verſchwindet, und in D aufs neue beginnt; in E verſchwindet ſie abermals und nimmt erſt in B nach vollendeter Umdrehung wieder ihren Anfang. Ueberhaupt haben alle Maſchinen einen ungleichförmigen Gang, welche die Laſt nur eine Zeit lang bewegen, dann frei gehen und hierauf wieder eine neue Laſt in Bewegung ſetzen.

Wird aber die Welle durch eingeſteckte Hebel bewegt, ſo kann man ſie immer vortheilhaft für die Wirkſamkeit des Druckes anfaſſen.

§. 60. Soll die Kraft die Laſt an einer Winde im Gleichgewichte erhalten, ſo ſind ebenfalls, wie im vorhergehenden §. die im Gleichgewichte zu erhaltenden Widerſtände zuvörderſt zu beſtimmen. Dieſe ſind, wenn eine vierarmige Winde zur Hebung einer Laſt gebraucht, und deshalb das Seil um eine Leitrolle geſchlagen werden ſoll

1) die eigentlich zu hebende Laſt = M
2) die Kraft der Seilbiegung an der Leitrolle = M′
3) die Zapfenreibung der Leitrolle = M″
4) die Kraft der Seilbiegung an der Welle = M‴
5) die Reibung des obern Wellenzapfens = M⁗
6) die Reibung des untern Wellenzapfens = M⁗′

Dieſe, von der Kraft im Gleichgewichte zu erhaltenden Widerſtände laſſen ſich leicht finden, und es iſt die Kraft für das Gleichgewicht =

$$P = \frac{D+\delta}{2}(M+M'+M''+M'''+M''''+M''''')$$

Von der ſchiefen Ebene.

§. 61. Eine gegen den Horizont geneigte Ebene heißt eine ſchiefe Ebene. Vermittelſt derſelben können ſchwere Laſten mit weit geringerer Kraft erhoben werden, als wenn dies ſenkrecht geſchähe. Um ſie zur Erhebung von Laſten

Digitized by Google

zu gebrauchen, läßt man die Kraft in paralleler Richtung mit der ſchiefen Ebene einwirken.

Befindet ſich eine Laſt Q auf der Ebene, Fig. 58 A, ſo drückt ſie mit ihrem ganzen Gewichte vertical niederwärts; aber dieſe Kraft wird theils zum Druck auf die Ebene, theils auf das Herabdrängen längs der Ebene verwandt. Man kann ſich alſo die ganze Kraft von Q in dem Schwerpunkte c, und die Richtung derſelben in die lothrechte Linie cf denken; ci ſtelle die Größe dieſer Kraft vor. Man zerlege dieſe Kraft in zwei Seitenkräfte, wovon die eine ck ſenkrecht auf die ſchiefe Ebene, die andere cl mit AC parallel iſt, ſo wird die auf AC ſenkrechte Kraft ck = Q. Cosin ACB, welche blos einen Druck auf die Ebene ausübt, durch die ſchiefe Ebene aufgehoben oder überwunden, und es bliebe nur cl = Q. Sin ACB zur Bewegung der Laſt übrig. Mit dieſer Kraft ſtrebt der Körper längs der Ebene hinabzugleiten. Es muß alſo eine Kraft = P der cl gleich nach cP entgegen wirken, wenn keine Bewegung erfolgen ſoll. Die Richtung dieſer Kraft durch den Schwerpunkt kann nicht nur mit der ſchiefen Fläche, ſondern auch mit der Grundlinie parallel, wie auch unter einem Winkel PEC = Pmk = β Fig. 58 B wirken. Dieſe nach Pm wirkende Kraft P, welche mit AB den Winkel β — a macht, wenn ABC = a geſetzt wird, kann man anſehen als zerlegt in eine auf AB ſenkrechte Kraft mg = P . Cosin Dmg = Cosin (90 = (β - a)) = P . Sin (β - a) = Q . Sin a, welche blos den Druck auf dieſe Ebene zu verſtärken oder zu ſchwächen beiträgt und in eine mit AB parallele Fm = P . Cosin FmD = P . Cosin (β - a).

Für das Gleichgewicht eines auf einer ſchiefen Ebene befindlichen Körpers muß demnach P . Cosin (β - a) = Q . Sin a ſeyn. Folglich iſt

$$P = \frac{Q \,.\, \text{Sin a}}{\text{Cosin}(\beta - a)} \text{ und}$$

$$Q = \frac{\text{Cosin}(\beta - a)}{\text{Sin a}} \,.\, P.$$

Digitized by Google

§. 62. Wenn die Richtung der Kraft P, Fig. 58 A, mit der schiefen Ebene AC gleichlaufend ist, so ist

(A) $P = Q \cdot \text{Sin } a$ und $Q = \frac{P}{\text{Sin } a} = P \cdot \text{Secant } a$

weil Cosin $(\beta - a) = 1$ ist.

Wenn aber die Richtung der Kraft mit der Grundlinie der schiefen Ebene parallel wirkt, so wird der Winkel $\beta = o$, daher ist

(B) $P = \frac{Q \cdot \text{Sin } a}{\text{Cosin } a} = Q \cdot \text{Tang } a$

Im ersten Falle verhält sich die Kraft zur Last, wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Länge AC. Denn in dem Dreiecke ACB, Fig. 58 A, verhält sich

$AC : AB = 1 : \text{Sin } a$ folglich

$\text{Sin } a = \frac{AB}{AC}$. Diesen Werth in (A) gesetzt

giebt $P = \frac{AB}{AC} \cdot Q$. Es verhält sich demnach

$P : Q = AB : AC$

Im letztern Falle verhält sich die Kraft zur Last, wie die Höhe der schiefen Ebene zur Grundlinie BC; denn in dem rechtwinkligen Dreiecke ABC verhält sich

$BC : AC = 1 : \text{Tang } a$ folglich

$\text{Tang } a = \frac{AC}{BC}$ Diesen Werth in (B) gesetzt

giebt $P = \frac{AC}{BC} \cdot Q$ Es verhält sich also

$P : Q = AC : BC$

Hieraus erhellt, daß, je kleiner die Höhe gegen die Länge oder je kleiner der Neigungswinkel a der schiefen Ebene ist, desto kleiner ist die relative Kraft gegen die Last. Ist der Neigungswinkel $= 30°$, so ist $\text{Sin } a = \frac{1}{2}$, folglich ist $P = \frac{1}{2}Q$. Der Druck auf die Ebene wird aber dagegen um so kleiner, je näher die Richtung der Kraft der loth-

Digitized by Google

rechten Richtung kommt. Auch erhellt aus den Gleichungen der verschiedenen Richtungen der Kraft, daß die Kraft P am kleinsten ist, wenn ihre Richtung mit der Ebene gleichlaufend ist. In dieser Richtung kann daher die Kraft am vortheilhaftesten wirken.

§. 63. Das Cartesianische Gesetz läßt sich auch bei der schiefen Ebene anwenden; denn um einen Körper bis zur Höhe AB, Fig. 58 A, zu heben, muß die Kraft den Weg AC durchlaufen, wenn die Richtung der Kraft mit der Länge der schiefen Ebene gleichlaufend ist. Daher verhält sich, unter dieser Bedingung, die Kraft zur Last, wie der Weg zur Last zum durchlaufenen Wege der Kraft.

§. 64. Da die Reibung als eine das Herabgleiten des Körpers hindernde Kraft wirkt, so muß auch dieselbe bestimmt werden. Die Größe der Reibung hängt von dem Neigungswinkel der schiefen Ebene ab; je mehr dieser zunimmt, desto geringer wird sie, weil der Normaldruck mI Fig 58 B sich alsdann verkleinert; denn das Hinderniß der Reibung beträgt einen aliquoten Theil des senkrechten Druckes. Wird diese Größe also durch φ ausgedrückt, so kann man

$$\varphi = \mu s$$

für alle Fälle setzen, wo S den senkrechten Druck oder Normaldruck = mI = Q . Cosin a und μ den erwähnten aliquoten Theil, also einen eigentlichen Bruch bedeutet. Wird ein Körper auf eine bewegliche Ebene gelegt, und die Neigung der schiefen Ebene so lange vergrößert, bis bei dem geringsten Zusatze an Neigung der Körper auf der schiefen Ebene herabzugleiten beginnt, und folglich das relative Gewicht P = Q . Sin a der Reibung μs gleich ist, so kann die Kraft der Reibung durch den Neigungswinkel auf folgende Weise bestimmt werden

$P = \mu s$ hierein den Werth von P und S gesetzt $Q . Sa = \mu . Q . Cosin a$ folglich

$$\mu = \frac{\text{Sin a}}{\text{Cosin a}} = \text{Tang a.}$$

Der Winkel a, dessen Tangente die Verhältnißzahl der Reibung angiebt, heißt der Ruhewinkel. Wird nun der Körper sich zu bewegen beginnen, wenn die schiefe Ebene, worauf er ruht, mit dem Horizonte einen Winkel von 28° 15′ macht, so ist die Tangente dieses Winkels = 0,5373 = dem Reibungs-Coefficienten dieses Körpers.

§. 65. Ruht ein Körper auf zweien Ebenen, so findet man das Verhältniß zwischen dem Gewichte des Körpers und dem Drucke auf jeder Ebene auf folgende Weise.

Man ziehe durch den Schwerpunkt des ruhenden Körpers G, Fig. 59, die lothrechte Linie GF. Werden nun von irgend einem Punkte F in dieser lothrechten Linie zwei Linien FC und FE normal auf die beiden Ebenen gezogen, so müssen diese senkrechten Linien durch die Punkte gehen, in welchen sich der Körper und die Ebenen berühren, da im andern Falle eine neue Kraft nöthig wäre, um den Körper zu halten. Die Länge Fb = Q stelle das Gewicht des Körpers vor; über Fb, als Diagonale, beschreibe man das Parallelogramm cFbe, so wird Fc oder eb den Druck P auf die Ebene AB, und Fe oder cb den Druck P′ auf die Ebene BD vorstellen. Zieht man KL mit HI gleichlaufend, so sind die Seiten des Dreiecks BKL resp. normal auf denen des Dreiecks cFb und dann ist

$$Q : P : P' = Fb : Fc : bc = KL : BK : BL$$
$$= \text{Sin ABD} : \text{Sin DBI} : \text{Sin ABH}$$

d. h., wenn das Gewicht des Körpers durch den Sinus des von den beiden Ebenen eingeschlossenen Winkels ausgedrückt wird, so sind die Pressungen auf die Ebenen den Sinus ihrer Neigungswinkel gegen eine wagerechte Ebene umgekehrt proportional.

Hieraus lassen sich nachstehende Folgerungen ziehen:

1) Wenn jeder der Neigungswinkel der beiden Ebenen 60° enthält, so ist die Summe der Pressungen des

Körpers gegen die beiden Ebenen gleich dem doppelten Gewichte jenes.

2) Ist ABD ein rechter Winkel, so verhält sich die Summe der Pressungen auf die zwei Ebenen zum Gewichte des Körpers, wie die beiden Katheten des rechtwinkeligen Dreiecks BKL zu seiner Hypotenuse.

3) Je größer die Neigungswinkel der beiden Ebenen sind, desto größer ist der Druck auf dieselben und umgekehrt.

4) Ist eine von den Ebenen wagerecht, so kann der Körper ohne Reibung nicht im Gleichgewichte bleiben, ausgenommen in dem Falle, wo die lothrechte Linie durch seinen Schwerpunkt, durch einen von den Punkten geht, in welchen der Körper die wagerechte Ebene berührt.

§. 66. Wenn das Gewicht, die Größe und Lage eines Balkens AD, Fig. 60, oder eines andern schweren Körpers gegeben ist, so findet man die gegenseitige Lage zweier Stützen, die im Stande sind, den Körper, hier den Balken, im Gleichgewichte zu halten, wenn die Lage der einen Stütze und die des untern Endes der andern bekannt sind.

Es liegt der Schwerpunkt des Körpers AD in G, und die gegenseitige Lage zweier Stützen soll gefunden werden, die ihn erhalten können, deren untere Enden C und I sind, und von denen die eine die bereits bestimmte Richtung CA hat. Man verlängere CA, bis sie die lothrechte Linie durch G in F schneidet, und ziehe IF, so wird diese AD in D schneiden, und in diesem Punkte muß dann das obere Ende der Stütze ID angebracht werden. Man ziehe dann AB und BD normal auf CA und DI, so würden erstere Durchschnitte von schiefen Ebenen seyn, die nach der vorigen Aufgabe den Körper im Gleichgewichte erhielten. Da nun die Richtungen der Pressungen des Körpers auf die gedachten Ebenen auf diese normal sind, so widerstehen die Stützen CA und ID jenen Pressungen vollständig, da ihre untern Enden

Digitized by Google

unbeweglich sind. Es sind bei A und D rechte Winkel; also

$$ABD + AFD = 2R \text{ und}$$
$$\text{Sin } ABD = \text{Sin } AFD = \text{Sin } C + I$$
$$\text{Cosin } I = \text{Sin } DBI \text{ und Cos. } C = \text{Sin } ABC$$

folglich verhalten sich nach dem vorhergehenden §. das Gewicht des Körpers, der Druck auf CA und der Druck auf CD wie der Sinus von (C + I), der Cos. von I und der Cos. von C. — Auch findet das Gleichgewicht statt, der Körper mag von den zwei Stützen CA, ID, den zwei schiefen Ebenen BA, BD, oder von zwei an einem Nagel oder Haken befestigten Seilen FA, FD getragen werden, da in jedem von diesen Fällen die Kräfte und deren Richtungen dieselben sind.

Auf denselben Grundsätzen beruhen die zusammengesetzteren Untersuchungen über Bogen, Gewölbe u. s. w. wie gehörigen Orts gezeigt werden wird.

Von dem Keile.

§. 67. Der Keil ist ein dreiseitiges Prisma, dessen auf der Achse senkrechter Durchschnitt ein spitzwinkeliges Dreieck ABC Fig. 61 bildet. AB wird der Rücken, AC und CB die Seitenflächen und C die Schärfe des Keils genannt. Der Keil heißt gleichschenkelig, rechtwinkelig und ungleichseitig, je nachdem das erzeugende Dreieck gleichschenkelig, rechtwinkelig oder ungleichseitig ist. Da aber der Querschnitt eines Keiles gewöhnlich ein gleichschenkeliges Dreieck bildet, und daher den Namen gleichseitiger Keil erhält, so werden wir allein die Theorie des gleichseitigen Keils vortragen.

Der Keil wirkt auf eben die Weise, wie die geneigte Ebene; allein anstatt daß der Widerstand oder die zu überwindende Kraft an ihm hinauf bewegt würden, bewegt er sich selbst unter die zu erhebende Last.

Digitized by Google

Zum Spalten eines Körpers bedient man sich des Keils, indem man diesen zwischen zwei getrennte Theile des Körpers hineintreibt, wie Fig. 61 darstellt; auch wird er bei Erhebung großer Lasten gebraucht. Die Theorie der Messer, Schwerter, Nägel u. s. w. beruhet im Allgemeinen auf der des Keils.

Theilt man die Rückenlinie AB in zwei gleiche Theile und verbindet den Theilungspunkt D mit der Schärfe C des Keils, so wird der Querschnitt des Keils in zwei schiefe Ebenen ACD und DCB zerlegt, daher die Lehrsätze der schiefen Ebene auch auf den Keil anzuwenden sind.

Wenn bei dem gleichseitigen Keile ABC Fig. 61 die Kraft = P auf den Rücken des Keiles AB nach der Richtung DC wirkt, um den Widerstand Q, welcher mit dem Rücken AB parallel wirkt, zu überwältigen, so hat jede der beiden schiefen Ebenen DCB und ACD die Hälfte des Widerstandes = $\frac{1}{2}$ Q mittelst der halben Kraft = $\frac{1}{2}$ P im Gleichgewicht zu erhalten. Es verhält sich daher die Kraft zur Last oder $\frac{1}{2}$ P : $\frac{1}{2}$ Q = AD : DC, also auch P : Q = AD : DC d. i. wie der halbe Rücken zur Länge des Keils.

Je größer also die Höhe des Keils gegen den Rücken oder die Dicke desselben, d. i. je spitzer der Keil ist, desto wirksamer ist die Kraft des Keils.

Setzt man den Winkel ACB an der Spitze des Keils = a, so ist der Winkel BCD = $\frac{1}{2}$a. Da nun

AD : DC = Tang $\frac{1}{2}$a : 1 folglich

P : Q = Tang $\frac{1}{2}$a : hieraus 1

1) $Q = \frac{P}{\text{Tang } \frac{1}{2}a}$

2) P = Q Tang $\frac{1}{2}$a

Wirkt der Widerstand rechtwinkelig auf die Seiten des Keils, nach den Richtungen FK und GN Fig. 62, so schneiden sie sich in dem Punkte I der Länge des Keils. Nehme man in denselben Richtungen IK = IN = $\frac{1}{2}$ Q = dem halben Widerstande an, und zeichne das Parallelogramm

Digitized by Google

IMNK, so ist IM die Mittelkraft, welche mit dem Widerstande Q das Gleichgewicht hält. Soll nun Gleichgewicht erfolgen, so muß diese mittlere Kraft der Kraft P gleich seyn, und nach der Richtung DM entgegen wirken, folglich ist $P = MI = 2\,IO$, und weil $\triangle$ IOK $\sim \triangle$ DBC, so verhält sich die halbe Kraft zum halben Widerstande, oder die ganze Kraft zum gesammten Widerstande

$$P : Q = DB : BC$$ d. i. wie der halbe Rücken zur Seite des Keils. Da aber

$$DB : BC = \text{Sin } \tfrac{1}{2}a : 1$$ folglich auch

$$P : Q = \text{Sin } \tfrac{1}{2}a : 1$$ hieraus

1) $P = Q \text{ Sin } \frac{1}{2}a$

2) $Q = \dfrac{P}{\text{Sin } \frac{1}{2}a}$

§. 68. Die Reibung ist bei dem Forttreiben des Keils sehr stark; ihre Wirkungsart ist aber bei dem Spalten fester Körper sehr schwierig zu bestimmen, indem die Reibung sich von Augenblick zu Augenblick ändert, und von einer Menge Umstände abhängt, die fast niemals bekannt sind; daher ist die Theorie, wie die Kraft und der Widerstand gegen einander wirken, noch sehr dunkel, deshalb sie hier übergangen wird.

Werden Körper durch Keile zusammengepreßt, als bei Oelmühlen und dergleichen, so nimmt man die Richtung des Widerstandes senkrecht auf die Länge des Keils an. Werden aber Körper durch Keile auseinander getrieben, als bei dem Spalten des Holzes und dem Eindringen scharfer Werkzeuge, so nimmt man die Richtung des Widerstandes rechtwinkelig auf die Seiten des Keiles an.

Eine vorzügliche Anwendung findet die Theorie des Keils bei der Berechnung des Druckes und Widerstandes von Gewölben, daher diese Lehre am Schlusse dieses Abschnittes vorgetragen werden soll.

Digitized by Google

Von der Schraube.

§. 69. Die Schraube ist eine einfache Maschine. In Ansehung ihrer Construction vergleicht man sie in der Regel mit einer um einen Cylinder gelegten schiefen Ebene. Da aber der Keil in eben der Art wirkt, wie die geneigte Ebene, und beide nur unter verschiedenen Umständen und Formen gebraucht werden, so läßt sich die Schraube, da sie in Ansehung ihres Gebrauchs mehr Aehnlichkeit mit dem Keile hat, füglich mit diesem vergleichen. Die Schraube wird gewöhnlich angewandt, um auf eine kurze Strecke bedeutenden Druck auszuüben. Zuweilen braucht man sie, um außerordentlich schwere Gewichte zu heben. Sie unterscheidet sich hauptsächlich durch ihren gewundenen Gang. Die Schrauben werden flache genannt, wenn sie parallelepipedische Windungen haben, hingegen scharfe Schrauben, wenn die Windungen keilförmig sind. Gewöhnlich werden die Schrauben auf folgende Weise, nach Wolfram, construirt.

Man nehme eine Walze M Fig. 63, und schneide sie gleichlaufend und zugleich senkrecht auf den Achsstrich aa oben in A und unten in B ab. Darauf mache man ein rechtwinkeliges Dreieck mno, wovon die Kathete mn gleich dem Umfange der Walze ist, die kleinere no aber einstweilen willkürlich groß seyn mag. Dieses Dreieck schneide man in biegsamer Pappe oder starkem Papier aus. Längs der Oberfläche (dem Mantel) der Walze ziehe man eine gerade Linie m′ w, dem Achsstrich aa gleichlaufend, oder auf die Grundflächen (Deckel) A und B senkrecht. Die Länge der kleinern Kathete no trage man aus dem Punkte m längs dieser Linie mw in p, q, r, s u. s. w. ab, so daß m′ p = pq = qr u. s. w. wird. Man lege nun den Endpunkt m des Dreiecks auf den Punkt m′ der Linie m′ w, und biege die papierne Lehre um die Walze so herum, daß das Eck o auf den Punkt p kommt, so wird no genau in mp zu liegen kommen, und die Linie mn auf den Umkreis der Grund-

Digitized by Google

fläche B; die Hypotenuse mo des dreieckigen Papiers aber wird auf der Oberfläche der Walze eine krumme, sich herumwindende Linie bilden, die man Schraubenlinie nennt. Man lege nun das Eck m auf p und das Eck o auf q, so entsteht eine gleichlaufende Fortsetzung dieser Schraubenlinie. Dieses kann man denn längs der ganzen Walze fortsetzen. Macht man in einiger Entfernung zwei solcher Schraubenlinien neben einander, und stemmt zwischen ihnen eine Höhlung aus, so entsteht auf der Oberfläche der Walze (welche die Schraubenspindel heißt) ein Gang, der Schraubengang. Dieser Schraubengang bildet in seinem Querschnitte entweder, nach Fig. 64, ein gleichseitiges Dreieck, oder, nach Fig. 65, ein Rechteck. Die scharfe Kante im ersten Falle, oder die ebenfalls rechteckige Erhöhung im andern Falle zwischen den Schraubengängen heißt das Gewinde. Die Linie mo = mp = pq u. s. w. heißt die Höhe oder Weite des Schraubenganges.

Man denke sich nun einen Körper walzenförmig ausgehöhlt, dessen Höhlung mit der Spindel einerlei Durchmesser hat, und an den innern Wänden dieser Aushöhlung völlig gleiche und ähnliche Schraubengänge vertieft eingeschnitten, worin die Gänge der Spindel genau passen, und durch Umdrehung fortbeweglich sind, so erhält man die zur Schraube gehörige Schraubenmutter. Die Walze heißt sodann eine Schraubenspindel, und der ausgehöhlte Körper eine Schraubenmutter, beides zusammen eine Schraube. In einigen Fällen ist die Spindel in einen festen Block eingesetzt, wie AB Fig. 66 und die Mutter wird vermittelst eines Hebels CD um die Spindel bewegt. In andern Fällen ist die Mutter fest und die Spindel beweglich, wie Fig. 67 darstellt; dies hat aber auf das Verhältniß der Kraft zur Last gar keinen Einfluß. Die Spindeln sind etwa 3 bis 3½′ lang, 7 bis 9″ dick. Auf jeden Fuß Höhe werden 8 Schraubengänge gerechnet. Man nimmt dazu Hainbuchenholz. Auf zwei Menschen rechnet man 50 — 80 Centner Last.

Digitized by Google

§. 70. Wenn man die in der festgehaltenen Schraubenmutter steckende Spindel nach einer Richtung, die mit dem Umfange der Walze übereinstimmend ist, dreht, so rückt jeder Punkt in dem ausgeschnittenen Schraubengange der Mutter fort, und wenn beide vertical stehen, so wird eben dadurch die Spindel mit der auf ihr ruhenden Last gehoben. Man kann hier jeden Punkt des Schraubenganges der Spindel ansehen, als ob er sich stütze auf den ausgeschnittenen Schraubengang der Mutter, mithin als ob jeder Punkt auf einer geneigten Ebene läge, deren Neigungswinkel durch die Höhe des Schraubenganges und den Umfang der Spindel bestimmt ist. Da das Steigen des Ganges für einen ganzen Umfang = h = der Höhe des Schraubenganges ist, und dieses Steigen gleichförmig in allen Punkten ist, so hat man den Neigungswinkel = a jedes Stückes des Schraubenganges gegen eine mit der Grundfläche parallele Ebene durch

$$\text{Tang a} = \frac{h}{2\varrho\pi} \text{ bestimmt (wo } \pi = 3{,}141593)$$

und ϱ = dem mittlern Halbmesser zwischen der Schraubenspindel und Schraubenmutter gesetzt wird; den in dem Dreiecke mno Fig. 63 verhält sich

mn : no = 1 : Tang omn. Weil nun die Grundlinie des Rectangels mn dem Umfange der Walze gleich ist, so kann selbige = $2\varrho\pi$ gesetzt werden. Folglich

$2\varrho\pi$: h = 1 : Tang a und

(A) $h = 2\varrho\pi$. Tang a so wie

$$\text{Tang a} = \frac{h}{2\varrho\pi}$$ d. h. die Neigungswinkel des Schraubenganges werden gefunden, wenn man die Höhe eines Schraubenganges durch den Umfang des Cylinders dividirt.

§. 71. Zur Bestimmung der Kraft = P, welche am Umfange der Spindel wirken muß, um der auf der vertical stehenden Spindel ruhenden Last = Q das Gleichgewicht zu halten, kann man den Umfang eines Schraubenganges als die Länge einer schiefen Fläche ansehen, auf

Digitized by Google

welche die Last senkrecht, die Kraft aber mit deren Länge parallel wirkt. Folglich verhalten sich nach §. 62 und Fig. 58

$P : Q = AC : AB$. Wird nun hierein obige Bezeichnung gesetzt, so verhält sich, wenn bei der Schraube Gleichgewicht statt findet, die Kraft zur Last, wie die Höhe des Schraubenganges zum Umfange der Spindel, oder $P : Q = h : 2\varrho\pi$ daher

$$P = \frac{h \cdot Q}{2\varrho\pi}$$

Wirkt die Kraft nicht unmittelbar an dem Umfange der Spindel, sondern an einem Hebelarme $EC = R$ Fig. 66, und es soll die Kraft P', welche im Abstande R wirkt, für das Gleichgewicht gefunden werden, so ist nach den Gesetzen des Hebels

$P' R = P\varrho$ folglich

$P' = \frac{\varrho}{R} P$ hierein den Werth P gesetzt

$P' = \frac{\varrho h}{2R\varrho\pi} \cdot Q = \frac{h}{2R\pi} \cdot Q$ oder den im vorigen §. gefundenen Werth von h

$$P' = \frac{2\varrho\pi \operatorname{Tang} a}{2R\pi} \cdot Q = \frac{\varrho}{R} \operatorname{Tang} a \cdot Q$$

Da die Kraft am Hebel parallel mit der Grundlinie der den Schraubengang vorstellenden schiefen Ebene wirkt, so ist der Normaldruck auf den Schraubengang (nach der vorhergehenden Lehre von der schiefen Ebene) $= \frac{Q}{\operatorname{Cosin} a}$ daher die Reibung $= \frac{\mu \cdot Q}{\operatorname{Cosin} a}$ und die auf den Kraftpunkt reducirte Reibung $= \frac{\varrho}{R} \cdot \frac{\mu Q}{\operatorname{Cosin} a}$ folglich die für Last und Reibung benöthigte Kraft

$$P' = \frac{\varrho}{R} \cdot \operatorname{Tang} a \cdot Q + \frac{\varrho}{R} \cdot \frac{r}{\operatorname{Cosin} a} \cdot Q = \frac{\varrho}{R}$$

Digitized by Google

$$\left(\text{Tang a} + \frac{\mu}{\text{Cosin a}}\right) . Q$$

Wo Q das Gewicht der Mutter oder deſſen, was ſie überhaupt zu tragen hat, und μ den vermittelſt der Schraube der Kraft P′ entgegen wirkenden Widerſtand bedeutet.

§. 72. Es war nach §. 64 der Reibungs-Coefficient $\mu = \text{Tang a}$, wo a den Neigungswinkel der ſchiefen Ebene bezeichnet. Wird nun ſtatt Tang a der für die Schraube gefundene Werth $= \frac{h}{2\varrho\pi}$ geſetzt, ſo iſt ihr Reibungs-Coefficient

$\mu = \frac{h}{2\varrho\pi}$ und $2\varrho\pi . \mu = h$. Es verhält ſich demnach $(2\pi . \mu) : 1 = h : \varrho$ und z. B. $\mu = \frac{1}{6}$ geſetzt, giebt $(2 : 3{,}141598\frac{1}{6}) : 1 = h : \varrho$ daher

$h = 1{,}047199\ \varrho$ das heißt

die Höhe eines Schraubenganges kann, wenn die Reibung $\frac{1}{6}$ angenommen wird, noch etwas größer, als deren mittelbarer Halbmeſſer ſeyn, ohne befürchten zu dürfen, daß die Laſt die Schraube überwältigt. Bei $\frac{1}{4}$ der Reibung würde $h = 1{,}57\ \varrho$ angenommen werden müſſen.

Anmerk. In den Philosophical Transactions Band 71 iſt von Hunter ein neues Verfahren bei Anwendung der Schraube gegeben, um ſolche mit der größten Genauigkeit wirken zu laſſen. Es ſey AB Fig. 68 eine Platte von Metall, in welcher die Schraube CD mit einer gewiſſen Anzahl von Gängen, etwa 10 auf einen Zoll Länge, ſich bewegt. In der Schraube CD iſt eine Mutter für die kleine Spindel DE mit 11 Gängen auf einen Zoll. Dieſe Schraube wird durch das Geſtelle AFGB verhindert, ſich mit der erſten zugleich umzudrehen. Wird die Kurbel CKL 10 mal umgedreht, ſo ſteigt die Schraube CD einen Zoll nach oben und angenommen, daß die Schraube DE ſich zugleich mit CD umdrehe, ſo rückt der Punkt E um einen Zoll fort. Dreht man nun die Schraube DE 10 mal rückwärts, ſo rückt der Punkt E nur $\frac{10}{11}$ Zoll nach unten, und der Erfolg beider Bewegungen iſt, den Punkt E um $\frac{1}{11}$ Zoll zu erheben. Wenn aber DE ſich nicht bewegen kann, während CD 10 mal umgedreht wird, ſo iſt der Erfolg derſelbe, als wenn DE ſich 10 mal

Digitized by Google

mit CD gedreht hätte und dann 10 mal zurückgedreht worden wäre, d. h. DE wird um $\frac{1}{11}$ Zoll fortrücken, also bei einer Umdrehung $\frac{1}{10} \times \frac{1}{11} = \frac{1}{110}$ Zoll. Ist nun der Kurbelzug 6 Zoll lang, so verhält sich im Fallen des Gleichgewichts die Kraft zur Last wie 1 zu $110 \times 6 \times 2\pi = 4{,}146{,}912$. Daher ist die Kraft von Hunters Schraube vielfach größer, als die gewöhnliche; denn eine solche müßte bei 6 Zoll Kurbelbug 100 Gänge auf einen Zoll Länge haben, um dieselbe Wirkung hervorbringen zu können, und bei dieser großen Anzahl von Gängen würde jeder einzelne zu schwach werden, um irgend einer heftigen Gewalt zu widerstehen.

Von dem Räderwerke.

§. 73. Wenn am Umfange eines Rades abgerundete Cylinder ausgeschnitten sind, welche in die Einschnitte oder Vertiefungen am Umfange eines andern Rades eingreifen, und dieses dadurch umtreiben, so heißen solche Räder **gezähnte Räder**. Die in einander greifenden Vorragungen beider Räder heißen **Zähne**. Werden mehrere Räder dergestalt mit einander verbunden, daß bei Umdrehung des einen, auch die übrigen in Bewegung gesetzt werden, so heißt eine solche Einrichtung ein Räderwerk. S. Fig. 74.

Ein gezähntes Rad heißt ein **Stirn-** oder **Sternrad**, wenn die abgerundeten Cylinder oder Zähne in der Verlängerung der Halbmesser vom Rade liegen; es heißt ein **Kamm-** oder **Kronrad**, wenn die Zähne an der Peripherie herum senkrecht auf der Fläche des Rades angebracht sind. Wenn der Umfang zweier paralleler Scheiben mit vertical stehenden cylindrischen Stäben verbunden wird, so erhält diese Vorrichtung den Namen **Trilling** und dessen Stäbe heißen **Triebstäbe**. Ein kleines Rad, welches in ein großes eingreift, heißt ein **Getriebe**. Geschieht die Umdrehung zweier Räder mittelst einer um beide geschlungenen Schnur, so werden sie **Seilräder** genannt. Die in einander greifenden Zähne verursachen die wenigste Reibung und haben eine gleichförmige Bewegung, wenn sie in Form einer Epicykloide abgerun-

Digitized by Google

det werden. Eine solche Einrichtung hat zuerst der dänische Astronom Römer in Vorschlag gebracht, und Camus hat in seinem Lehrbuche der Mathematik Römers Grundsatz beibehalten.

Vollständige Erläuterung über die Einrichtung vom Räderwerke mit gezähnten Rädern und Getrieben, so wie auch über die Construction und Anwendung der krummen Linie findet man in Eytelwein's Handbuch der Statik Bd. 1 und 3.

Zur Aufhebung großer Werkstücke oder Lasten bedient man sich des gezähnten Rades und der Schraube, welche in die Zähne des Rades eingreift. Diese Schraube heißt eine Schraube ohne Ende, weil sie beim Umdrehen durch das Andringen desselben Schraubenganges an jedem neu vorgeschobenen Zahn die Bewegung fortwährend unterhält. Fig. 69, 70 und 71 stellen ein von dem Mechanicus Linderer gemachtes Zug- und Hebewerk vor. Dieses Zugwerk besteht aus einer 8 Zoll im Durchmesser habenden, flachen Schraube ohne Ende h, mit doppelten Gängen, welche von 2 bis 4 Mann, je nachdem die Schwere der zu hebenden Last ist, mittelst der Kurbel k umgedreht wird. Dieselbe greift in das Stirnrad f ein, auf dessen Welle ein Getriebe g steht, welches das Stirnrad c, mithin die Zugwelle b, worauf sich das nach einem Flaschenzuge gehende Seil a aufwindet, in Bewegung setzt. Die Zugwelle dieser Maschine ist 17 Zoll im Durchmesser groß und das Räderwerk hat eine solche Einrichtung, daß die Zugwelle bei 106 Umdrehungen der Kurbel nur einen Umlauf macht, und daß in der Stunde kaum 70 Fuß Seil aufgewickelt wird. Vergrößert man aber nach Wiebekings Vorschlag den Durchmesser der Zugwelle wenigstens um das Doppelte, so geschieht die Aufziehung der Last schneller. Auch schlägt Wiebeking vor, der Welle eine solche Einrichtung zu geben, daß sie auf die Arme des ersten Sternrades auf- und abgeschoben werden kann, damit, wenn die Last in die Höhe gezogen ist, sie für sich herumgedreht

Digitized by Google

wird, um das Seil in kurzer Zeit abzuwickeln. Mit dieser Maschine haben 4 Mann, ohne die mindeste Anstrengung, über 300 Centner aufgehoben.

Zur Hebung kleiner Lasten bedient man sich der Wagenwinde, Fig. 72, an welcher mittelst einer Kurbel ein in Bewegung gesetztes Getriebe c die gezähnte Stange dd aufwärts treibt, die mit einem Horn sich endet, um unter die zu hebende Last gesetzt zu werden. Außerhalb werden Sperrhaken und ein Sperrad angebracht, um die gezähnte Stange in dem ihr gegebenen Stande zu erhalten.

Wenn ein Stirnrad und zwei Getriebe angebracht werden, um eine gezähnte oder Hebestange in Bewegung zu setzen, so heißt eine solche Winde eine doppelte Wagenwinde. Eine ähnliche Einrichtung hat man im vorigen Jahre anstatt der ursprünglich in den Seitenmauern angebrachten gewölbten Umläufe zum Aufziehen der Schützen- oder Schloßthüren an den Schleusenthoren für die Schleusen des Schleswig-Holsteinischen Kanals angebracht. Diese Winde besteht ganz aus Eisen und das Getriebe ist in einem Kasten von Eisenblech bedeckt, wie Fig. 73 zeigt; die gezähnte Stange wird mittelst eines Getriebes von einer horizontal liegenden Schraube ohne Ende in Bewegung gesetzt, wenn dieselbe das, das Getriebe bewegende Stirnrad, welches auf der Achse steht, herumtreibt. Bei der jedesmaligen Operation oder Aufziehung einer Schütze, wird die Kurbel auf die Welle der Schraube aufgesteckt, damit Niemand die Schütze aufziehen kann.

§. 74. Zur Bestimmung der Kraft, welche bei einem Räderwerke, Fig. 74, erforderlich ist, um die Last und sämmtliche dabei vorkommende Hindernisse im Gleichgewichte zu erhalten, gilt im Allgemeinen die Regel, daß die Kraft sich zur Last verhält, wie das Product aus den Halbmessern sämmtlicher Wellen und Getriebe zum Producte aus den Halbmessern sämmtlicher Räder; denn jedes Rad an der Welle wirkt wie ein Hebel, dessen Unterstützungspunkt im Mittelpunkte der Welle

Digitized by Google

liegt, und deſſen Arme den Halbmeſſern reſp. des Rades und der Welle gleich ſind. Dieſer Lehrſatz iſt aus dem Vorhergehenden einleuchtend, und bedarf daher keines Beweiſes. Eben ſo einleuchtend iſt, daß, wenn von einem mit Zähnen verſehenen Rade und dem in ihn eingreifenden Getriebe in gleichen Zeiten gleiche Bogen durchlaufen werden ſollen, daß auf gleiche Längen der mit verſchiedenen Halbmeſſern beſchriebenen Bogen, auch gleich viel Zähne angebracht ſeyn müſſen. Die Zahl der Zähne beider in einander greifender Räder verhält ſich demnach, wie die Peripherie oder wie die Halbmeſſer der letztern. Da nun die Zahlen der Zähne des Rades und der des Getriebes ſich wie die Umkreiſe, oder wie die Halbmeſſer verhalten, ſo verhält ſich auch die Kraft zur Laſt, wie das Product aus den Anzahlen der Zähne der Getriebe zu dem aus den Anzahlen der Zähne der Räder. Oder wenn die Kraft P an einem Rade A, Fig. 74, vermittelſt eines Seiles wirkt, und die Laſt Q von der Welle E vermittelſt eines andern herabhängt, ſo iſt P : Q = Zähnen in a × Zähne in b × Zähne in c × Zähne in d × Halbmeſſer von c : Halbmeſſer von A × Zähne in B × Zähne in C × Zähne in D × Zähne in E. Man multiplicire alſo die Halbmeſſer aller Wellen oder Getriebe, und die Halbmeſſer aller Räder in einander, dividire jenes Product durch dieſes, ſo iſt der Quotient gleich dem Quotienten der Kraft, dividirt durch die Laſt.

Haben alle Räder zu ihren Wellen einerlei Verhältniß r : R, und n iſt die Zahl der Räder, ſo erhält man im Falle des Gleichgewichts $P : Q = R^n : r^n$. Wären z. B. 3 Räder an 3 Wellen vorhanden, und der Halbmeſſer jedes der erſteren verhielte ſich zu dem der zugehörigen von den letztern wie 10 : 1, ſo wäre P : Q = 1 : 1000.

Wenn ein Getriebe ein Rad in Bewegung ſetzen ſoll, ſo bewegen ſich beide Umfänge mit gleichen Geſchwindigkeiten; das mit dem zweiten Rade verbundene Getriebe, bewegt das dritte Rad mit einer Geſchwindigkeit, die kleiner

Digitized by Google

ist als die des zweiten Rades, da der Umfang des Getriebes dem Umdrehungspunkte näher liegt, als der des zugehörigen Rades. Es verhält sich dagegen in einem in Bewegung befindlichen Räderwerke die Zahl der Umdrehungen des Rades, an welchem die Kraft wirkt, zur Zahl der Umdrehungen des Rades, an dessen Welle die Last wirkt, welche in derselben Zeit geschehen, wie das Product aus den Halbmessern (oder Zähnen) der Räder zu dem Producte aus denen der Wellen. Wenn man also die Zahl der Zähne aller Räder und die Zahl der Zähne aller Getriebe multiplicirt, und dividirt die erste durch die letzte, so erhält man die Zahl der Umläufe des letzten Rades gegen einen Umlauf des ersten Rades.

§. 75. Wenn eine Last mittelst eines in ein Stirnrad eingreifenden Getriebes durch eine an einer Kurbel wirkende Kraft herauf gewunden werden soll, so muß man zuvörderst außer der Last die dabei vorkommenden Gegenwirkungen der Kraft bestimmen. Sie bestehen

1) aus dem Gewichte der zu hebenden Last $= Q$
2) aus der Kraft, die zur Ueberwindung der Steifheit des Seils an der Welle erforderlich ist $= M$
3) aus der Kraft, die zur Ueberwindung der Reibung
   a) an dem Zapfen der Welle $= M'$
   b) an dem Zapfen des Getriebes $= M''$

   erforderlich ist.

Da aber die Reibung am Umfange der Zapfen erfolgt, so wird dieselbe auf den Laſtpunkt der Welle reducirt.

Weil aber die Last am Umfange der Welle, die Kraft hingegen am Ende des Kurbelarmes wirkt, so ist die an der Kurbel wirkende Kraft P, wenn die Reibung der Zähne hinzukommt, nach der Bezeichnung des vorhergehenden §.

$$P = \frac{r}{R} \cdot \frac{n}{(N-1)} \cdot (Q + M + M' + M'')$$

§. 76. Soll eine an einer gezähnten oder Hebstange angebrachte Last $= Q$ mittelst eines Getriebes von einer horizontal liegenden Schraube ohne Ende, welche in die

Digitized by Google

Zähne eines in die Zähne des Getriebes eingreifenden Stirnrades eingreift, gehoben werden, so ist im Falle des Gleichgewichtes

$$\frac{P + 2\pi\varrho}{h} = \frac{r.Q}{R}$$ wo ϱ den Halbmesser der Schraube gleich der Höhe der Kurbel, mit welcher die am Umfange der Schraube nach der Tangente des Schraubencylinders senkrecht auf die Achse wirkende Kraft P den Kreis $2\pi\varrho$ beschreibt, h die Höhe des Schraubenganges, r den Halbmesser des Getriebes und R den Halbmesser des Stirnrades bezeichnet.

Anmerk. Das Gewicht eines Menschen rechnet man im Durchschnitte auf 130 bis 150 ℔; an der Kurbel bei 2 bis 2½ Fuß Geschwindigkeit ist die Kraft eines Menschen 20 bis 24 ℔. Arbeiten 2 Menschen an einer, unter einem Winkel von 135 gebogenen Kurbel, so kann die Kraft eines jeden Mannes auf 25 ℔ gerechnet werden. An der Zugleine kann ein Mensch mit 40 ℔ Kraft und 4 Fuß Geschwindigkeit vertical abwärts ziehen. An der Erdwinde rechnet man 2 bis 3 Fuß Geschwindigkeit auf den Mann 30 ℔ Kraft, wobei vorausgesetzt wird, daß die Arbeit nicht länger als eine, höchstens zwei Stunden hinter einander am Tage daure, und eben so viel Zeit zur Ruhe gegeben wird. — Ein Pferd kann beim horizontalen Zuge mit 3 bis 4 Fuß Geschwindigkeit 175 ℔ Kraft ausüben.

Die animalische Kraft ist von verschiedenen Schriftstellern ungemein verschieden geschätzt worden; dieses darf uns aber nicht wundern, da jeder Versuch, dieselbe auszumitteln, mit großer Schwierigkeit verbunden seyn muß. Sowohl bei Menschen, als bei Thieren muß die Stärke und Dauer der animalischen Kräfte durch physische und physiologische Ursachen sehr merklich modificirt werden, und man kann zu einem ziemlich genauen Resultate nur dann gelangen, wenn man die Versuche der verschiedenen Naturforscher vergleicht, welches Young in dem 2ten Bande seiner Naturlehre gethan hat. Seine schätzbaren Tabellen theilt J. Nicholson in seinem Werke: der praktische Mechaniker und Manufacturist, Weimar 1826 1ste Lieferung, S. 48 mit.

§. 77. Mit dem Räderwerke hat es dieselbe Bewandniß, als mit jeder andern Maschine, daß das, was an Kraft gewonnen wird, an Zeit verloren geht, und was an Zeit gewonnen werden soll, an Kraft zugesetzt werden muß.

Es ist erwiesen worden, daß die am Rade und an der

Digitized by Google

Welle wirkenden Kräfte in gleichen Zeiten ihre Peripherieen durchlaufen, und daß die zurückgelegten Wege sich wie die Halbmesser, letztere aber, als Arme eines Hebels, sich umgekehrt, wie die daran wirkenden Kräfte, verhalten. Es verhält sich demnach die Kraft P zur Last Q, wie die Halbmesser der Getriebe in einander multiplicirt, zu den Halbmessern der ihnen zugehörigen Räder in einander multiplicirt. Hingegen verhält sich der Weg der Last Q zum Wege der Kraft P, wie die Halbmesser der Getriebe in einander multiplicirt, zu den Halbmessern der ihnen zugehörigen Räder in einander multiplicirt. Werden diese Proportionen mit einander verglichen, so folgt hieraus

P : Q = (Weg der Last Q): (Weg der Kraft P)

d. h. die Kräfte verhalten sich im Gleichgewichte umgekehrt, wie die Wege, die sie in gleicher Zeit zurücklegen.

Aus dem Vorhergehenden ergiebt sich, daß die am Umfange des ersten Rades wirkende Kraft durch mehrere vorgelegte Räder und Getriebe so vielmal vermindert wird, als das Product der Quotient anzeigt, wenn man mit der Anzahl Stäbe jedes Getriebes in die Zahl der Zähne des eingreifenden Rades dividirt; allein die Last wird durch diese Vorgelege so vielmal langsamer bewegt. Wirkt hingegen unter Zusammensetzung derselben Vorgelege die Kraft an der Welle des ersteren Rades, und die Last am Umfange des letzteren, so vermehrt sich die Geschwindigkeit der Last in demselben Verhältnisse, das Gleichgewicht erfordert aber auch so viel mal mehr Kraft. —

Von den zur Fortbringung schwerer Werkstücke dienenden Maschinen.

§. 78. Außer den schon beschriebenen Hebmaschinen, von welchen die Schrauben und Flaschenzüge auch dazu dienen, schwere Werkstücke fortzubringen, werden Lasten vorzüglich mit nachstehenden Maschinen fortgezogen.

Digitized by Google

Zu den gewöhnlichsten gehören die Steinwagen, deren Vorderräder 3″ und deren Hinterräder 6′ 2″ im Durchmesser haben. An der Stelle der Räder kann man sich auch der Walzen bedienen, in welchem Falle der Wagen ein Rollwagen genannt wird.

Eine jede Einrichtung, welche die Reibung der fortzubewegenden schweren Massen auf ihre Unterlage zu vermindern sucht, ist sehr vortheilhaft zum Fortschaffen der Werkstücke, daher wird man am besten schwere Lasten transportiren können, wenn das Unterlager aus Walzen oder Kugeln besteht. Um aber einen gleichförmigen Zug zu bewirken, und um zugleich vorzubeugen, daß die Kugeln nicht unter der Last weggleiten, werden diese in Gerinnen gelegt. Auf diese Art ward durch einen mittelst einer Erdwinde in Bewegung gesetzten Flaschenzug ein 27′ breites, 21′ hohes und 24′ langes Felsstück, dessen Gewicht 30,000 Centner betrug, 20 Werste weit nach Petersburg gebracht, um zum Piedestal zu der Statue Peters des Großen gebraucht zu werden. Die Art, auf welche dieses Felsstück, in einem Sumpf versenkt, ausgehoben und fortgezogen wurde, ist von Wiebeking in seiner allgemeinen Wasserbaukunst, 4ter Th. S. 289 bis 293 vollständig beschrieben worden.

Mittelst eines Druckhebels Fig. 75 werden auch Lasten zuweilen aufgehoben oder fortgezogen. Beim Niederdrücken des Hebels ab wird das gekerbte Rad cd und die damit verbundene Zugwelle h, auf welche letztere sich das an die zu hebende Last l festgemachte Seil p aufgewickelt, mittelst zweier Druckhaken g und p in Bewegung gesetzt. Wie die eisernen Kerben ee des Rades und die darüber zu legenden Platten ff beschaffen seyn müssen, ist aus der Figur ersichtlich. Diese Maschine wird an zweien in die Erde gerammten Pfählen i festgemacht, und von zwei oder mehreren Arbeitern, welche an der Zugleine h ziehen, in Bewegung gesetzt und erhalten.

Digitized by Google

Von den zum Ausziehen der Pfähle dienenden Maſchinen.

§. 79. Das Ausziehen der Pfähle auf dem Lande iſt dem auf dem Waſſer gleich. Hat man in der Nähe der Pfähle feſte Punkte, ſo kann man ſich ähnlicher Vorrichtungen, wie Fig. 76, bedienen. Durch einen ſolchen einfachen Hebel wirkt auf die Laſt eine ſo vielfach größere Kraft, als die Entfernung des Kraftpunktes vom Unterſtützungspunkte größer iſt, als die Entfernung des Laſtpunktes von demſelben.

Auf dem Waſſer muß man 2 Prahme im Waſſer ſo vor Anker legen, daß ſie den auszuziehenden Pfahl zwiſchen ſich in der Mitte haben. Dieſe Kähne oder Prahme werden dann berüſtet und mit Bohlen überlegt, ſo daß man darauf die Rüſtzeuge anbringen kann. — Auf dem feſten Lande umgräbt man den Pfahl erſtlich ſo tief wie möglich. Wird man aber wegen Waſſerandrang daran verhindert, ſo muß der Boden um den Pfahl mittelſt der Grundſchippe Fig. 77 a b ſo viel wie möglich aufgelockert werden, oder man ſucht den Pfahl durch ſtarke Erſchütterungen zu lüften, indem man entweder mit einem ſchweren eiſernen Schlägel, oder mit einem ſchweren Balken oder Klotz, welchen man nach Art der vormaligen Mauerbrecher in ſeinem Mittelpunkte an einem Gerüſte wagerecht ſchwebend aufhängt, wiederholt gegen denſelben ſtößt oder ſchlägt. Hierauf umwindet man den Pfahl mit einem ſtarken Taue oder mit einer Kette und zieht damit denſelben, unter beſtändiger Erſchütterung des Pfahls, durch eine Hebelvorrichtung aus. Stehen die Pfähle im Waſſer ſo, daß blos die Köpfe derſelben über dem Waſſer hervorragen, ſo bohrt man quer durch dieſelben ein Loch und ſteckt einen Bolzen hindurch, an den man eine Kette hängt. Stehen die Pfähle ganz unter Waſſer, ſo bedient man ſich eines ſtarken eiſernen, viereckigen Ringes, welchen man ſchief in das Holz einſchlägt und an welchem Ringe die Kette befeſtigt wird.

Digitized by Google

Eine einfache und wirksame Maschine zum Ausziehen der Pfähle ist die in Fig. 78 abgebildete Hebelmaschine, bei welcher der Pfahl mittelst einer Kette am Ende des Hebels bei b befestigt wird. Der Hebel oder Wuchtbaum ruht auf der Unterlage c, welche eine kurze Walze ist. Bei ddd ziehen Menschen, und wenn sie den Hebelpunkt a niedergedrückt, also auch den Punkt b verhältnißmäßig erhoben haben, so muß letzterer, als der Lastpunkt, wieder niedergebracht und der Pfahl tiefer gefaßt werden, und so fort, bis er ganz ausgehoben ist. Um den Lastpunkt b niederzubringen, muß der Kraftpunkt a erhoben werden. Dazu dient die Haspelwelle m, um deren Welle ein Seil gelegt ist, das über die Rolle rr herumgeht, und bei a um den Hebelbalken geschlungen und befestigt ist. Wird die Haspelwelle durch die Arme nn umgedreht, so wickelt sich das Seil auf, und der Arm ae wird in die Höhe gezogen. Die übrigen Einrichtungen dieser Maschine nebst dem Gerüste ergeben sich aus der Zeichnung. Auch kann man bei a Rammschläge auffallen lassen.

Der Effect dieser Maschine ist sehr bedeutend. Um diesen zu bestimmen, sey das Gewicht des Balkens ab = g, die Kraft eines Menschen = k, alsdann ist das Moment der Kraft = ae × k + we × g, und wenn die Gewalt, mit welcher der Pfahl von einem Menschen aufwärts gezogen wird = Q gesetzt wird, so ist das Moment der Last = be . Q, folglich hat man für den Zustand des Gleichgewichts ohne Rücksicht auf Reibung

$$be \cdot Q = ae \times k + we \times g$$

§. 80. Zum Ausziehen der Pfähle bedient man sich auch des doppelten Haspels, welcher in Fig. 79 mit einem Gerüste abgebildet ist, um darzustellen, wie ein Pfahl im Wasser auf zwei überrüsteten Kähnen oder Prahmen ausgewunden werden kann.

Das Tau, welches den Pfahl faßt, ist um eine Welle gelegt, und an dieser Welle wirkt ein oder wirken mehrere angebrachte Hebel. An diesem einfachen Haspel ist an den

Digitized by Google

Hebelarm, wo die Kraft einwirken soll, ein Seil gelegt, welches mit dem andern Ende um eine andere Welle, woran auch Hebelarme angebracht sind, gelegt ist.

Die bedeutende Wirkung dieser Maschine läßt sich, mit Beiseitesetzung der Reibung, auf folgende Art bestimmen.

Es sey die Entfernung des Kraftpunktes B vom Umdrehungspunkte w der Welle = L, der Halbmesser der Welle w, an deren Umfang die Last Q wirkt = R, so ist die nöthige Kraft bei A, $P = \frac{R}{L} \cdot Q$. Die Kraft die am Punkte A durch die Kraft am Punkte B hervorgebracht wird, ist eben so groß, als die Last daselbst = Q. Ist nun die Entfernung des Punktes A vom Umdrehungspunkte der Welle w = l, der Halbmesser der dazu gehörigen Welle w, woran die Last Q′ wirkt = r, so ist wieder

$$Q = \frac{r}{l} \cdot Q' \text{ also}$$

$$P = \frac{r}{l} \cdot \frac{R}{L} \cdot Q \text{ oder}$$

$$P : Q = R \,.\, r : L \,.\, l$$

Belidor beschreibt eine Schraube, deren man sich bei Dünkirchen zum Ausziehen der Pfähle bedient hat. Eine Abbildung dieser Maschine, wie solche auf dem Wasser gebraucht werden kann, ist in Fig. 80 dargestellt. Auf einem über zwei vor Anker liegenden Prahmen, a, b, c, d, e, f, g, h, angebrachten Gerüste, und um eine durch die Berüstung senkrecht über dem Pfahlkopf gelassene Oeffnung A, steht ein Gestell mit 4 starken, kurzen Füßen, worauf eine starke Bohlendecke liegt. Durch diese geht eine Schraube, an welcher unten der Pfahl angehängt wird. Auf diese Schraubenspindel wird von oben herunter eine starke Schraubenmutter aa aufgesetzt. Sobald diese durch die 4 eingesteckten Hebelarme bb bis auf die Bohlendecke niedergeschraubt ist, so findet sie den ganzen Widerstand des Prahmgerüstes, mit dem es dem tiefern Einsenken widersteht. Wird sie nun fortwährend tiefer geschraubt, so wirkt jener ganze Wider-

Digitized by Google

ſtand als Kraft aufwärts an der Schraube, und dadurch an dem daran gehängten Pfahl. In Fig. 64 iſt dieſe Spindel beſonders größer und deutlicher dargeſtellt, mit der Art, wie der Pfahl angehängt wird.

Durch die von Humphrey zu Magdeburg gemachten Vorrichtungen, die Elbe von Pfählen zu reinigen, wurde das Waſſer des Fluſſes ſelbſt dabei als bewegende Kraft benutzt.

Von den Maſchinen und Werkzeugen, welche gebraucht werden, um den Grund unter dem Waſſer zu ebnen.

§. 81. Wenn das Waſſer nicht zu tief iſt, ſo kann man Schlamm und Sand mit einer gewöhnlichen Schaufel Fig. 81 c, oder mit einem Handbagger, Fig. 81 a, oder mit einem Schlammräumer, Fig. 81 b, oder mit einem Kratzer ausräumen. Der Schlammräumer, ein aus unverzinntem, ſtarkem Eiſenblech gefertigter Kaſten von 18″ Länge und 12″ Breite, mit einem etwas biegſamen Stiel verſehen, wird mit ſeinem vordern Rande durch den Schlamm oder Sand gezogen, indem der Arbeiter den Stiel auf die Schulter legt, mit den Händen feſt hält und vorwärts ſchreitend zieht. Der Kratzer Fig 81 d iſt wie ein Miſthaken, aber mit 6 wenigſtens 12″ langen Zinken verſehen, mit welchen man Steine oder Wurzeln herausarbeitet, kratzt oder lockert den Grund auf, ehe man ihn ausräumen kann. Iſt das Waſſer zu tief, ſo daß jene Inſtrumente nicht angewandt werden können, ſo bedient man ſich der Baggermaſchine und dies beſonders, wenn eine anſehnliche Quantität Erde ausgehoben werden ſoll. Die Baggermaſchine, deren man ſich in den Häfen von Toulon und Marſeille bediente, und die von den Venetianern zur Austiefung der Waſſerſtraße von Venedig nach Malamocco gebrauchte Maſchine, die ſie Cavafango nennen, ſind von Wiebeking in ſeiner allgem. theor. und prakt. Waſſerbau-

Digitized by Google

kunſt, 5ter Bd. §. 198 und 199. S. 180 und 181 beſchrieben und abgebildet. Die Baggermaſchine (holländiſche Modder-Moolen), deren man ſich in dem Y vor Amſterdam und in deſſen Hafen bediente, findet man in Leupold's Maſchinentheater der Hydrotechnik, auch bei Wiebeking am angeführten Orte §. 200 beſchrieben und abgebildet. Belidor hat im zweiten Bande ſeiner Architectura hydraulica die ſpäterhin für den Hafen von Toulon angeſchaffte Baggermaſchine, ſo wie auch die von Caſtain erfundenen Hafenräumer beſchrieben. — Es giebt noch mehrere Arten von ſolchen Maſchinen. Man ſehe hierüber Woltmann's hydraul. Architektur, 4ter Th. und Hatchette's Traité élémentaire des machines.

Die Baggermaſchine, Fig. 84, deren man ſich zur Austiefung des Kieler Hafens bedient, iſt ſehr einfach. Sie wird von einem an die Anker gelegten Prahme getragen, und beſteht aus einem Laufrad, um deſſen Welle ſich die an der Schaufel befeſtigte Kette wechſelſeitig auf- und abwickelt, je nachdem das Laufrad nach der einen oder andern Richtung gedreht wird. Das Seil, welches an dem ſich zwiſchen dem Rahmen bewegenden Schaufelſtiele befeſtigt iſt, dient dazu, um die Schaufel in eine ſolche Lage zu bringen, daß ſie in den Grund eingreift. Damit aber die Schaufel ſo tief, als nöthig iſt, in den Schlammgrund eingreife, wird dieſelbe von 2 Arbeitern in den Grund eingedrückt. Wird nun das Rad gedreht, ſo ſpannt ſich die an der Schaufel befeſtigte Kette um die Welle des Laufrades. Iſt die Schaufel über die Oberfläche des Waſſers gekommen, ſo wird dieſelbe in das an dem Prahme belegene Boot ausgeleert; iſt ſie geleert, ſo wird das Laufrad nach der entgegengeſetzten Richtung bewegt, wo dann die an der andern Seite des Prahmens auf den Boden herabgeſenkte Schaufel von den Arbeitern geführt, in den Grund eingedrückt und dann wiederum heraufgezogen wird.

Zur Aufhebung kleiner Gegenſtände aus dem Waſſer bedient man ſich der Grundzange, Fig. 82. Durch das

Digitized by Google

Uebergewicht bei a bleibt ſie geöffnet, und mittelſt der Schnur wird die Zange angezogen.

Mit der ſo genannten Teufelsklaue Fig. 83 werden große Steine aufgezogen. Mittelſt des Seils a wird die Zange oder Klaue angezogen, wodurch ſie ſich auseinander giebt. Durch Umdrehung der Winde wird das Tau b angezogen und die Zange nebſt dem Steine in die Höhe gezogen. Die kleinen Stricke cc dienen zur Lenkung der Zange.

Auch mit der Steinklaue Fig. 84 werden Steine aufgehoben. Mittelſt der Hängeſäule a und den darin befindlichen Löchern b, wodurch der Zapfen von der Scheibe c geſteckt wird, und den Rollen e und f kann man dieſelbe in die tiefſten Stellen des Fluſſes herablaſſen, wo alsdann die Säule a zwiſchen den 2 Streben d (es iſt hier nur eine ſichtbar) und den Rollen ef vertical hängt. Das Zugſeil h wird mittelſt der Umdrehung der Erdwinde angezogen und bei fortwährender Umdrehung wird die Säule a in die Höhe gezogen.

Die bei dem Hafenbaue zu Carlscrona gebrauchten Hebekeile, Fig. 85, werden zur Aufhebung der Steine, welche nicht mit einer Zange gefaßt werden können, gebraucht. Es wird in den zu hebenden Stein A ein 9 Zoll tiefes Loch mit einem Steinbohrer gemacht, in welches 2 eiſerne Keile c und b, die zuſammengeſetzt einen Cylinder bilden und genau das Loch ausfüllen, geſteckt werden. An dem Keile b, deſſen dickeres Ende unten befindlich iſt, befeſtigt man vermittelſt eines eiſernen Ringes das Tau E, welches über die Scheibe B geht, und an der Scheibe C befeſtigt iſt, von welcher ein anderes Tau um die Welle D herumgedreht iſt, welches zuſammen die Vorrichtung einer gewöhnlichen Erdwinde ausmacht, wovon die zweite Scheibe F am Stricke G befeſtigt iſt. An dem cylinderförmigen Keil c, deſſen Spitze nach unten zu gekehrt iſt, befindet ſich eine eiſerne Stange d, deren oberer Theil etwas über die Waſſerfläche reicht; die beiden Keile werden mit einem Seile

Digitized by Google

zusammengebunden. Einige Schläge mit einem großen Hammer auf der eisernen Stange befestigen beide Keile äußerst scharf gegen einander, und da sie an ihrer Seite eine sehr geneigte Fläche haben, so halten sie so fest, daß der Stein mit Hülfe der Winde D aufgehoben werden kann.

§. 82. Sind die Steine von der Größe, daß sie nicht mit den oben beschriebenen Maschinen aus dem Wasser herausgehoben werden können, so müssen sie zuvörderst mittelst Pulver gesprengt werden. Zu diesem Zwecke werden die Steine gebohrt. Die dazu erforderlichen Instrumente nebst ihrer Anwendung und die Entzündungsmethode sind im 1sten Hefte der prakt. Wasserbaukunst von Eytelwein und Gilly §. 43 vollständig beschrieben und abgebildet. Das Verfahren bei dem Bohren ist von Wiebeking in seinem oben angeführten Werke 5ter Bd. S. 187 u. f. beschrieben. Ferner sind nachzuschlagen die Sammlungen nützlicher Aufsätze die Baukunst betreffend, 2 Th. 1798, die Nachrichten von den 1778, 1779, 1780 und 1781 in dem Strudel der Donau zur Sicherheit der Schifffahrt vorgenommenen Arbeiten, Wien 1781, und Schemerls Abhandlungen über die Schiffbarmachung der Ströme, Wien 1787. S. 175 u. f.

Von den zum Absägen der Pfähle unter dem Wasser dienenden Sägen.

§. 83. Sollen Pfähle unter dem Wasserspiegel abgeschnitten werden, und beträgt die Tiefe nicht viel mehr als einen Fuß, so kann das Absägen mit großen Handsägen geschehen, deren Sägeblatt so schräge gestellt wird, wie erforderlich ist. In größerer Tiefe von 2 — 6 Fuß bedient man sich entweder derjenigen Grundsäge, mit welcher Pfähle auf dem Netzflusse in Preußen abgeschnitten worden sind, oder derjenigen, welche bei dem Brückenbau in Choisy gebraucht wurde. Die erstere findet man in dem 1sten Hefte der prakt. Wasserbaukunst von Eytelwein; im 3ten Th. 1ste

Abth. des Handbuches für Baumeiſter von Wolfram, und in dem 4ten Bd. der allgem. theor. und prakt. Waſſerbaukunſt von Wiebeking beſchrieben und abgebildet, und Röder hat die letztere im erſten Theile ſeiner Brückenbaukunde abgebildet. Fig. 86 a und 86 b ſtellt die erſte Grundſäge dar. Auf den Unterlagern a a, welche auf 4 berüſteten Prahmen oder Kähnen ββββ ſo liegen, daß die Säge ss den Pfahl P richtig anſchneidet, liegt der Balken A A, an welchem die Arme h i, die in Fig. 87 beſonders und von der andern Seite vorgeſtellt ſind, hängen. In der Mitte hängt der Arm t u, der ebenfalls in Fig. 88 beſonders und von der andern Seite dargeſtellt iſt. Dieſer hat den Einſatz m m, worin die Säge ss, Fig. 86 a, ſicher, ohne zu ſchlottern, hin- und her geht, und zur Vermeidung der Reibung geht der Rücken der Säge auf einer mittleren Rolle r r. Iſt die Säge mit der ganzen Vorrichtung in die gehörige Tiefe vor den abzuſchneidenden Pfahl gebracht, ſo werden an jedes Ende des Seiles b b, welches bei x und y an der Säge befeſtigt iſt, und über die Rollen R R R R hinweggeht, zwei Arbeiter geſtellt, welche durch wechſelſeitiges Ziehen des Seiles die Säge in Bewegung ſetzen. Während dieſes Schneidens muß der Balken A A durch leiſe Anſchläge mit der Zimmerart oder einem Schlägel ſeitwärts gerückt werden; daher dieſer Balken auf den Kämmen k k, Fig. 86 a, der Unterlage verſchiebbar iſt.

Eine andere Einrichtung zum Abſägen der Pfähle unter dem Waſſer in einer noch etwas größern Tiefe, als der vorhin angenommenen, iſt in dem oben angeführten Werke von Eytelwein und Gilly und ſpäterhin auch von Wolfram beſchrieben und abgebildet.

Erſt ſeit der Erbauung der Londoner Weſtminſter-Brücke 1738 hat man angefangen, die Grundpfähle der Pfeiler-Fundamente unterm Waſſer abzuſägen, darauf den Roſt zu legen und die Fundamente zu erbauen.

Der Zimmermeiſter Etheridge erfand eine zu dieſem

Zwecke sinnreich eingerichtete und beim Bau der Blackfriars- und Westminster-Brücke zu London gebrauchte Säge.

Solche besteht ganz aus Metall, mit Ausnahme der Seile und der beiden Walzen, über welche die Seile gehen. Sie ist in Fig. 89 und 90 abgebildet und im ersten Heft der prakt. Wasserbaukunst von Eytelwein und Gilly folgendermaßen erläutert: a a ist die Säge mit dem Gatter, welches nebst dessen 4 Armen nach horizontaler Richtung mittelst der Seile i i, woran die Arbeiter ziehen, in Bewegung gesetzt wird. Bei b b sind 4 messingene Rollen zur Verminderung der Reibung von den Armen angebracht. Die beiden Sägewagen c c bewegen sich auf 4 messingenen verticalen Rollen, die am Umfange eine Vertiefung haben, um ein Seil darin aufzunehmen, welches bei e e befestigt ist, um den Wagen und dessen Rollen bei d d und von da über die messingenen Rollen f f und g g nach dem Gewichte n geht, welches zum Ausdrücken des Sägegatters gegen den Pfahl k dient. Mittelst der Bügel l l und des Hebels m wird die ganze Maschine an dem abzuschneidenden Pfahl befestigt. Man kann damit einen 10 Fuß tief im Wasser stehenden, 14 bis 16 englische Zoll starken Pfahl in 1½ Minute abschneiden.

Cessart und Voglie haben eine andere mit Erfolg bei dem Brückenbaue von Saumür gebrauchte Grundsäge erfunden. Man kann damit Pfähle 15 — 16′ tief unterm Wasser abschneiden. Die Einrichtung ist zu künstlich und zu sehr zusammengesetzt, daher sie sehr kostbar ist. Man findet sie umständlich beschrieben und vollständig abgebildet in Cessart Description des travaux hydrauliques, Paris 1807 et 1808 T. I. p. 72 etc., auch ist sie von Lesage in seinem Recueil de divers mémoires und in Hatchette's Traité u. s. w. abgebildet.

Patte hat in seinen Mémoires sur les objets les plus importans de l'architecture, Paris 1769 eine Grundsäge abgebildet und beschrieben, welche aber wegen ihrer sehr

Digitized by Google

zusammengesetzten und gekünstelten Einrichtung nicht wohl zu empfehlen ist.

Die von C. F. Richter (Anfang nach neuer Methode unter Wasser zu bauen ohne Fangdämme u. s. w. Berlin 1705) beschriebene Grundsäge, so wie auch die von Belidor (Architectura hydr. 2 Th. 4 B. 12 Kap.) beschriebene Maschine haben beide nach Eytelwein mehrere Mängel. Die bei der Gründung der eisernen Brücken vom Louvre und von Austerlitz gebrauchte Säge ist von Schulz in seinen Beiträgen zur Wasserbaukunst beschrieben und abgebildet worden.

Von den Gewölben.

§. 84. Schon in den frühesten Zeiten kannte man Gewölbe, und noch jetzt sind mehrere von den alten Römern erbaute gewölbte Brücken vorhanden. Auch im Mittelalter hat man, zum Theil noch bestehende, Bogen von sehr großer Spannweite erbauet. Allein die Anwendung der mathematischen Theorie auf die Structur und den Bau der Gewölbe wurde erst gegen die letzte Hälfte des 17ten Jahrhunderts in Frankreich abgehandelt und hierauf in Ausübung gebracht. Parent, Deran, Dechales, Blondel, de la Rue sind die ersten gewesen, welche Regeln vorgeschrieben haben, die in der Folge durch Andere, als Cuplet, Gauthey, Belidor, Camus, Frezier, Lambert, Prony, Langsdorf, Rondelet, Boitard, Berard, Carner, Cocher u. a. m. verbessert und berichtigt wurden. De la Hire ist der erste gewesen, welcher mit Richtigkeit und Genauigkeit die erforderliche Dicke der Widerlagen bestimmt hat, um dem Drucke der Gewölbe zu widerstehen. Er betrachtet diesen Druck der Gewölbsteine als von Keilen herrührend, und die Fugen als vollkommen glatte Flächen mit Beiseitesetzung der Reibung und des durch den Mörtel bewirkten Zusammenhanges der Wölbsteine. Die Anweisung davon findet man in den Schriften der Pariser Akademie der Wissenschaften.

Digitized by Google

Mehrere Mathematiker haben aber zum Theil die Theorie des Keils verworfen, besonders haben die Neuern, nach umständlichen Versuchen mit Modellen, nach genauen Beobachtungen an eingestürzten Brücken, dem Zusammensetzen oder der Senkung neu erbauter Gewölbe bei ihrer Ausrüstung, die Senkung auch nach den Gesetzen des Hebels beurtheilt. Die verschiedenen aufgestellten Hypothesen hat Wiebeking sehr gründlich historisch beschrieben in seiner allgemeinen Wasserbaukunst 3 Th. §. 404. S. 629. Die Auseinandersetzung dieser Theorien kann daher hier übergangen werden.

Wenn man nun aber auch bei einem so wichtigen Gegenstande, wie die Gewölbe, lieber zu der Erfahrung seine Zuflucht nehmen, als sich blos nach Theorien richten muß, so ist doch jene ohne diese nicht hinlänglich, sondern für einen Brückenbaumeister sehr nothwendig die Theorie zu studiren, und die Resultate der theoretischen Formeln mit vorhandenen ähnlichen Brückendimensionen zu vergleichen. Es soll daher die Theorie von dem Drucke und Widerstande von Gewölben u. s. w. hier vorgetragen werden.

§. 85. Das Gewölbe ist eine von natürlichen oder gebrannten Steinen oder von andern passenden Materialien bogenartig dergestalt gemachte Decke, daß die verschiedenen Steine, woraus sie besteht, sich nicht allein wechselsweise einer den andern vermöge ihrer Lage halten, sondern auch im Stande sind die größten Lasten zu tragen.

Die Gewölbe sind entweder einfache oder zusammengesetzte. Diejenigen, welche auf ihrer Oberfläche durch keine Veränderung in ihrer Richtung unterbrochen werden, als Tonnen-Gewölbe, welche die Hälfte eines Cylinders oder noch darüber oder auch darunter ausmachen, oder nach einer krummen Linie gebaut sind, die eine Art von halbem Cirkel vorstellt, sie mag übrigens eine Ellipse, Parabel, Hyperbel, Kettenlinie u. s. w. seyn, heißen einfache Gewölbe. Vereinigen sich dagegen verschiedene krumme Linien, um ein einziges Gewölbe zu formiren, das durch die

ein- oder auswärts gehenden Winkel eine verschiedene Form bekommt, so werden solche zusammengesetzte Gewölbe genannt. Dahin gehören die gothischen Gewölbe, welche aus zwei Cirkelbogen zusammengesetzt sind, deren Mittelpunkte in gleicher Weite auseinander stehen, und mit der Spitze, worin jene zusammenstoßen, einen gleichseitigen Triangel ausmachen; ferner die Kreuzgewölbe und andere Arten mehr.

Ein nach einem richtigen halben Cirkel formirtes Gewölbe nennt man ein vollständiges Tonnengewölbe. Steigt der Bogen höher als ein halber Cirkel, so ist es ein hohes, ist er niedriger, so heißt es ein gedrücktes Gewölbe. Der Bogen YAZ, bab Fig. 91, welcher einen halben Cirkel ausmacht, ruht auf zwei massiven Stirnpfeilern oder Widerlagen bM, b'L und besteht aus einzelnen, in Ansehung der Länge und Breite gleichförmigen Steinen (Gewölbsteinen). Diese Steine haben die Form abgekürzter Keile, die oben breiter als unten sind, und sind so gelegt, daß, wenn ihre Seiten mit denen sie aufliegen, verlängert würden, solche insgesammt im Mittelpunkte des Gewölbes I zusammenstoßen würden. Die Gewölbsteine, welche zunächst auf den Widerlagen ruhen, heißen Anfänge, Ruhesteine. Der oberste Keil A wird der Schlußstein genannt. Je weiter sich ein jeder Stein von dem Schlußsteine entfernt, eine desto horizontalere Lage bekommt er. Die vordere Ansicht eines Bogens heißt seine Stirnfläche oder Kranz (Einfassung, Vorbogen). Dieser Kranz wird eingeschlossen von der äußern Wölbungslinie (dem Oberbogen) bab' und der innern Wölbungslinie (dem Unterbogen) YAZ. Die innere Fläche senkrecht auf dem Kranze heißt innere Wölbung. Ihr Querschnitt ist YAZ; der Querschnitt der äußern Wölbung ist bab'; die Spannung oder Weite ist YZ; Ii ist die Höhe und zwar i der Scheitel; a liegt im Rücken; ai ist die Dicke des Gewölbes. Der oberste Theil der Widerlage oder der Theil des Stirnpfeilers, von welchem der Boden

anfängt, heißt der Kämpfer. Um den von den Steinen ausgeübten Druck und Gegendruck, welcher ſich vom Schlußſtein bis zum unterſten, der auf der Widerlage liegt, erſtreckt, zu beſtimmen, wird angenommen, daß die Steine durch kein Bindungsmittel unter einander verbunden, ſondern ganz glatt ſind und ohne Hinderniß auf einander hingleiten können.

Vom Druck und Widerſtand der Gewölbe.

§. 86. Jeder Stein, vom Schlußſteine an gerechnet bis zum unterſten, der auf einer horizontalen Fläche liegt und ganz von der Widerlage gehalten wird, äußert vermöge ſeiner Schwere eine größere oder geringere Kraft nach der verticalen Linie AI, DK, FL u. ſ. w. Fig. 91 hinabzufallen, je nachdem die Steine näher oder entfernter vom Schlußſteine ſich befinden. Dieſer Kraft, welche der Stein anwendet um zu fallen, widerſtehen die auf beiden Seiten ihm zunächſt liegenden keilförmigen Steine. Sie leiden daher einen Druck, welcher nach einer Richtung wirkt, die perpendiculair aus dem Schwerpunkte eines jeglichen Keils gegen ſeine ſchiefe Fläche geht, wie beim Schlußſtein AP und AV, die perpendiculair auf BI und CI ſtehen, und ſo weiter bei allen andern Steinen, die auf einander ruhen, jedoch mit dem Unterſchiede, daß der Druck der auf einander ruhenden Steine vom Schlußſteine bis zu den Widerlagen des Gewölbes in dem Verhältniſſe abnimmt, wie der Winkel von dem Schlußſteine an gegen die Widerlagen immer ſpitzer oder kleiner wird, und daß der Keil, welcher über einen andern liegt, mehr Gewalt auf den untern ausübt, als dieſer durch den Gegendruck auf ihn. So übt der Keil D nicht ſo viel Gewalt auf die Seite E aus, als der Schlußſtein A auf die Seite B; denn da die Fläche EI mehr gegen die Verticallinie AI geſenkt iſt, als die Fläche BI, ſo iſt auch der Winkel QDK, der von der Verticallinie DK und von DQ formirt wird, ſpitziger, als der Winkel PAI.

Digitized by Google

Ebenfalls wird der Keil F weniger Kraft gegen die Seite G ausüben, als der vorhergehende D gegen die Seite E, weil der Winkel RFL spitziger ist als der Winkel QDK. Es haben demnach die dem Schlußsteine zunächst liegenden Steine eine größere Kraft nöthig, um den Schlußstein zu halten, als die übrigen Keile, obgleich diese letztern sehr dazu beitragen, daß die Kraft geringer wird. Diese Gewalt, welche der Schlußstein gegen die Seiten BI und CI äußert, und so die übrigen Keile gegen ihre Nachbaren ausüben, ist um so größer, je weniger diese Seiten gegen die Verticallinie AI gesenkt sind, weil alsdann die Richtungen der Kräfte einander gerade entgegengesetzt sind; je schärfer dagegen die Winkel PAI, VAI u. s. w. sind, desto weniger Kraft wird erfordert, weil die Richtungen der Kräfte in diesem Falle einander nicht so gerade entgegengesetzt sind.

So wie nun die Widerlagen, welche man sich als eine feste Masse vorstellt, dem Drucke des Gewölbes oder dem Resultate der Kräfte, welchen alle Steine, sowohl auf der einen als auf der andern Seite des Gewölbes ausüben, widerstehen, so wirkt der bis an die Grundlinie einer jeden Widerlage fortgepflanzte Druck des Gewölbes auf die Widerlage, um die beiden Punkte S und X zu drehen. Da aber jeder Stein A, DF u. s. w. in dem Gewölbe nach der Richtung AP, BQ, ER u. s. w. einen Druck äußert, so muß auf dieser Directionslinie der Kräfte ein Gegendruck entgegenwirken, um die verschiedenen Keile zu halten. Die aus dem Ruhepunkte S auf der Directionslinie der Kräfte gezogene Perpendicularlinie SP, SQ, SR u. s. w. drückt demnach die Hebelarme des Gegendruckes aus.

Zur Bestimmung der Stärke einer Widerlage, welche zum Widerstande gegen den Druck erforderlich ist, müßte man demnach den Druck eines jeden Keils in Absicht seiner Last und der Perpendicularlinien SP, SQ, SR u. s. w. insbesondere finden. Allein de la Hire hat die Erfahrung gemacht, daß die meisten Gewölbe, deren Widerlagen für

Digitized by Google

den Druck zu ſchwach ſind, auf den Seiten zwiſchen den Kämpfern und dem Schlußſteine einen Riß bekamen oder brachen, daher er die Widerlagen ſo betrachtet, als erſtreckten ſie ſich bis zu den ſogenannten Brechungsfugen do, bn, Fig. 92, innerhalb welcher der Bruch am leichteſten erfolgt, und dem Theile des Gewölbes zwiſchen dieſen letztern, nämlich dabno als einem ſchweren Körper, der auf die Brechungsfugen ſenkrecht drückte, wie die lothrechte Kraft eines Keils dcba wirkt.

§. 87. Um die Stärke von Stirnpfeilern oder Widerlagen zu finden, damit ihr Widerſtand mit dem Drucke des Gewölbes im Gleichgewichte ſtehe, muß man den Seitendruck, welcher von der Laſt des obern Theiles des Gewölbes innerhalb der Brechungsfugen auf die Widerlagen entſteht, beſtimmen.

Der Theil des Gewölbes abc Fig. 92, an welchem ein Bruch am leichteſten erfolgt, iſt nach Beſchaffenheit der Umſtände 30° — 60° veränderlich gefunden worden. Theilt man aber ca in zwei gleiche Theile, ſo erhält man das Mittel zwiſchen beiden Gränzen = 45°. Dieſer Winkel acb wird = c geſetzt. Ziehe man nun aus dem Punkte q, als der halben Bogendicke, qh normal auf bc, und verlängere dieſe Linie ſo weit, bis ſie die wagerechte Linie mi in r ſchneidet, ziehe dann aus dem Punkte i, als dem Unterſtützungspunkte, um welchen das Gewölbe ein Beſtreben hat die Widerlage zu drehen, ih normal auf qr, ſo ſtellt die Perpendicularlinie qh die Richtung der Kraft vor, welche dem Drucke des Keils abkn auf die ſchiefliegende Fläche cb widerſteht, und das Perpendikel ih drückt den Hebelarm der Kraft aus. Bezeichnet man die Maſſe des halben Gewölbes aknb mit A, die der Widerlage mit P und das Gewicht einer Einheit des Körpermaaßes mit φ, ſo iſt das Gewicht der erſten Maſſe = φA, und das der letztern = φP. Nehme man nun an, daß das Gewölbe ein Beſtreben habe die Widerlage um i, als um einen Unterſtützungspunkt zu drehen, ſo iſt dies daſſelbe, als wenn der

Digitized by Google

Körper aknb, dessen Gewicht φA ist, auf die Seite bn drückte und die ganze Last sich um den Punkt i zu drehen strebte. Allein es verhält sich das Gewicht φA zu dem daraus entstehenden Drucke auf bn, wie der Sinus des von ak und bn eingeschlossenen Winkels zum Sinus des Winkels asi d. h. $\text{Sin acb} : \text{Rad} = \varphi A : \frac{\varphi A}{\text{Sin acb}}$ = dem Drucke des halben Gewölbes auf die Brechungsfuge; folglich ist das Moment dieser Kraft $= \frac{\varphi A \,.\, ih}{\text{Sin acb}}$. Da nun q der Schwerpunkt des halben Gewölbes ist, so wirkt der davon herrührende Druck in der Richtung qr, und da P der Schwerpunkt des Widerlagers ist, so wirkt die von seinem Gewichte erzeugte Kraft in der lothrechten Richtung Pq; daher muß für den Zustand des Gleichgewichts nach den Gesetzen des Hebels das Moment der Kraft gleich dem Gewichte der Widerlage oder dem Momente des Widerstandes $\varphi P \,.\, qi$ d. h.

$$\frac{\varphi A \,.\, ih}{\text{Sin acb}} = \varphi P \,.\, qi \text{ oder}$$

$$\text{(A)} \quad A \,.\, ih = P \,.\, qi \,.\, \text{Sin acb} \text{ hieraus}$$

$$\frac{A}{P} = \frac{qi}{ih} \,.\, \text{Sin acb}$$

Eine jede von den in dieser Gleichung vorkommenden 5 Größen findet man, wenn die 4 übrigen gegeben sind.

Es erhellet aus der Gleichung (A), daß der Druck gegen die Widerlagen in dem Verhältnisse zunimmt, wie der Sinus acb kleiner oder spitzer, mithin immer stärker wird, je flacher das Gewölbe ist; denn der Winkel acb wird desto spitzer, je kleiner bei einerlei Spannung fe die Höhe des Gewölbes und je größer bei einerlei Höhe ea die Spannung ist. Es erfordern demnach flachere Gewölbe stärkere Widerlagen, als höhere; denn flache Bogen befördern das Verschieben der Widerlagen mehr als höher gewölbte, da der aus dem senkrechten Drucke des keilförmigen Bogenstücks nach qh entstehende horizontale Druck nach ce, welcher nach statischen

Digitized by Google

Gesetzen $= \frac{\varphi A}{\text{Tang } c}$ ist, sich bestrebt, den Pfeiler horizontal von der Stelle zu schieben, oder wenn der Zusammenhang der Theile nicht stark genug ist, ihn stückweise abzustoßen, und nur durch die Vermehrung der Reibung des Pfeilers auf der Grundfläche entgegengewirkt werden kann. Dieser Schub in horizontaler Richtung ist der gefährlichste, und da die Tangenten mit den Winkeln wachsen, so wie auch das Moment dieser Kraft $= \frac{\varphi A . ec}{\text{Tang } c}$ mit der Höhe des Pfeilers wächst, so muß man diesem Tangentialdrucke durch eine größere Stärke der Widerlagen für eine größere Höhe begegnen.

Nimmt man an, daß die Reibung gleich der Hälfte der Schwere der halben Brücken sey $= \frac{1}{2} S$ und berechnet den Körpergehalt von S, indem man S in Kubikfuß nach dem specifischen Gewichte des zu brauchenden Steins verwandelt, dividirt diese gefundene Größe durch die Tangente des Winkels a c b $=$ c, zieht dann von diesem Quotienten $\frac{1}{2} S$ ab, so muß der Rest hinlänglich seyn, um die Widerlage vor dem Verschieben zu sichern.

Aus der obigen Gleichung erhellet ferner, 1) je länger der Hebelarm i h wird, einen desto stärkern Druck übt das Gewölbe aus; denn so wie der Hebelarm zunimmt, wird das Gewölbe flächer oder gedrückter; 2) daß die Widerlagen bei einer auf dieselben aufgebürdeten neuen Last, als der Last eines auf den Gewölbepfeilern ruhenden Gebäudes, oder des wechselseitigen Gegendruckes zweier, auf einem gemeinschaftlichen Pfeiler ruhenden Gewölbebogen, einer geringern Stärke bedürfen; denn zu dem Widerstande, welchen die Widerlagen leisten, muß das Moment dieser Last hinzugethan werden. — Ueberhaupt trägt alles zum festern Stand des Gewölbes bei, was das Moment des Widerstandes vermehrt.

§. 88. Außer dem im vorigen §. bestimmten Seitendrucke, welcher von der Last des Gewölbes auf die Wider-

Digitized by Google

lagen desselben entsteht, kömmt es bei der Berechnung der Stärke eines Gewölbes ferner auf zwei Umstände an: auf das Gleichgewicht der Gewölbsteine unter sich und auf die Bestimmung der nöthigen Stärke der einzelnen Gewölbsteine, damit sie der auf sie wirkenden Kraft widerstehen können.

Was den ersten Punkt betrifft, so ist es aus dem Vorhergehenden klar, daß es ein großer Vortheil für die Stabilität eines Bogens seyn wird, wenn kein Keil des Gewölbes mehr Gewalt als der andere anwendet, und wenn sie sich unter einander selbst, ohne irgend ein Bindungsmittel, festhielten.

Um den Zweck zu erreichen, daß alle Keile gleich viel Kräfte ausüben, müßte jeder Keil an Gewicht zunehmen, je weiter er vom Schlußsteine entfernt ist; folglich müßten für den Zustand des Gleichgewichts die Massen der einzelnen Keilstücke plbn Fig. 92 sich gegen einander verhalten, wie die Unterschiede der Tangenten der Winkel, welche ihre Entfernungen von der lothrechten Linie durch den Scheitel des Gewölbes ausdrücken. Wenn demnach die Winkel der einzelnen Keilstücke acl, lcb Fig. 92 einander gleich sind, so dürfen die zugehörigen Massen akpl, lpnb nicht gleich, sonden lpnb muß größer als akpl seyn, weil die Unterschiede der Tangenten bei gleichen Unterschieden der Winkel wachsen. Weil aber die Schwere der einzelnen Gewölbsteine sich wie ihre Länge verhält, so ist es erlaubt, ihr Verhältniß eben sowohl in der Länge, als in der Schwere zu suchen. Um jene Aufgabe zu lösen, stellt Fig. 93 die Krümmung eines Gewölbes von einem Kreisbogen dar. Man ziehe ad senkrecht auf ah, so drükken ab, bc, cd die Unterschiede der Tangenten der Winkel ahb, ahc, ahd, aus. Der obere Gewölbstein habe die Höhe ae = ab, so bekommt der zweite die Höhe af = bc, der dritte die Höhe ag = cd u. s. w. Was aber den untersten Gewölbstein ik betrifft, so kann seine Schwere auf obige Weise nicht bestimmt werden, weil ad und hk parallel sind, folglich nie zusammen stoßen können. Er müßte

Digitized by Google

alſo eine ſehr große Schwere haben, um der Gewalt aller übrigen zu widerſtehen, im Fall er auf einer glatt polirten Fläche ausgleiten könnte. Da aber in der Ausübung der Zuſammenhang der Gewölbſteine und die Friction die Feſtigkeit eines Gewölbes ſehr vermehrt, ſo braucht man desfalls die Höhe von ik nicht größer als die Höhe oder Länge der zunächſt anliegenden Gewölbſteine zu machen. Sollen aber alle Keilſtücke des Gewölbes von gleicher Länge ſeyn, welches der Fall iſt, wenn das ganze Gewölbe ſeine Krümmung behalten muß, ſo entſteht die Frage: was für einen Bogen oder eine krumme Linie muß alsdann ein Gewölbe bekommen, damit alle Keile eine gleiche Schwere oder Länge haben und unter einander im Gleichgewichte ſtehen? Die höhere Geometrie lehrt, daß dieſe krumme Linie die Kettenlinie iſt. Indem auf Eytelwein's Handbuch der Statik feſter Körper, 3ter Bd., verwieſen wird, wo außer einer vollſtändigen Theorie auch Tafeln und praktiſche Regeln zur Verzeichnung der Kettenlinie gegeben ſind, wird hier blos ein mechaniſches Verfahren mitgetheilt, eine Kettenlinie von gegebener Weite und Tiefe zu beſchreiben.

Man ziehe auf einer verticalen Fläche eine Linie AB Fig. 6., deren Länge die Spannung des Gewölbes beſtimmt; aus der Mitte deſſelben ziehe man CS normal auf AB, deren Länge die beſtimmte Höhe des Gewölbes ſeyn ſoll; dann nehme man eine in allen Theilen recht gleichförmig gearbeitete, biegſame Kette, befeſtige das eine Ende derſelben bei B, das andere Ende ſchlage man bei A über eine Rolle und befeſtige daran ein Gewicht, welches man ſo lange vermehrt oder vermindert, bis die Kettenlinie bei gegebener Weite der Spannung AB die verlangte Tiefe CS erreicht hat. Man zeichnet dann dieſe Krümmung, welche den Lehrbogen zum Gewölbe giebt.

Wie man die Kettenlinie durch die Quadratur der Hyperbel oder die Rectification der Parabel conſtruiren könne, lehrt Joh. Bernoulli (ſiehe deſſen Opera omnia Tom. III.

Digitized by Google

p. 491). Ferner hat Frezier in seiner Théorie et Pratique de la coupe des pierres à l'usage de l'architecture, so wie auch Gauthey in seinen Constructions des Voutes et des Dômes, sich über die Theorie der Gewölbsteine verbreitet.

§. 89. Um die Stärke der einzelnen Gewölbsteine zu bestimmen, wird vorausgesetzt, daß der Durchschnitt des Schlußsteines a k Fig. 92 in Quadratfuß oder Zollen gegeben sey. Wird nun die ganze Last des Gewölbes von einer Brechungsfuge = P gesetzt, so leidet a k einen senkrechten Druck von jeder Seite, welcher = $\frac{\frac{1}{2}P}{\text{Tang } \frac{1}{2}acb}$ ist. Hat das Gewölbe eine größere Last, als sein eigenes Gewicht zu tragen, z. B. das Gewölbe einer Brücke, so muß man die Last zu P rechnen, um den gesammten Druck gegen a k zu erhalten. Mit der Spannung und Höhe des Gewölbes nimmt das Gewicht P zu, und kann so groß werden, daß es die Festigkeit einer jeden Materie überwindet; daher man bei großen Weiten mehrere Gewölbbogen construirt.

Ueber die Lehre vom Entwurf der Brücken wird der dritte Theil dieses Werkes eine nähere Erörterung enthalten.

Anmerk. Zur Aufgabe der Lehre vom Gleichgewichte gehört auch, die Gestalt eines Mauerquerschnittes zu bestimmen, wenn die Mauer eine Erdmasse stützen soll. Da aber Woltmann, Kastner, Prony sich über diesen Gegenstand umständlich verbreitet haben und Eytelwein im IIIten Hefte der praktischen Anweisung zum Wasserbau eine vollständige Berechnung über den Druck der Erde gegen Futtermauern, und Tabellen über die auf Erfahrung begründeten, und im IIIten Bde. der theor. und prakt. Wasserb. von Wiebeking angegebenen Abmessungen der Futtermauern gegeben hat, so werden hier nur kürzlich die allgemeinen Grundsätze über die Größe des Druckes, welchen eine Mauer, deren hinterer Raum mit Erde ausgefüllt ist, auszuhalten hat, dargestellt werden.

Vom Druck der Erde gegen die Mauern.

§. 90. Trockene, lose Erde auf einen Haufen geschüttet, bleibt nicht ruhig liegen, sondern gleitet von oben herunter so lange ab, bis sie sich in einer schiefen Fläche gelagert hat. Dieser Winkel, den diese Schiefläche mit der Setzwage macht, ist nach den von Woltmann im 3ten Bande seiner Beiträge zur hydraulischen Architektur mitgetheilten Erfahrungen

bei trockenem Sande	32°
" angefeuchtetem Sande	24°
" trockener, gepulverter Gartenerde	37°
" angefeuchteter Gartenerde	27°
" trockenem, gepulvertem Lehm	40°
" trockner, gepulverter Thonerde	45°
" trockenem, gepulvertem Steinkalk	50°
" Kiesel und kleinen Straßensteinen	36°

Unter diesem Winkel lagert sich der aufgeschüttete Haufen, er mag groß oder klein seyn. Man kann daher für einerlei Erdart den Lagerungswinkel als eine beständige Größe ansehen. Je kleiner, unter übrigens gleichen Umständen, dieser Winkel ist, desto größer ist das Bestreben der Theilchen, zur Erdmasse zu sinken. — Angenommen, daß cbd Fig. 94 die natürliche Neigung der Erde sey, so würde die Erdmasse abc unter dem Winkel acb über die unter ihr befindliche Erde auf bc hinunter rutschen, und die lothrechte Wand ab wegdrücken, wenn nicht gegen die Wand, die vorläufig als ein gewichtloser Körper angesehen wird, eine Kraft P in horizontaler Richtung angebracht wäre, welche dem Erddrucke das Gleichgewicht hielt. Aeußerte nun die Erdmasse acb gar keine Friction und Cohäsion, so würden die wagerechten Pressungen der Erde bei verschiedenen Höhen sich wie bei Flüssigkeiten verhalten, und zwar wie die Quadrate dieser Höhen. Der Mittelpunkt der Pressungen würde alsdann in $\frac{1}{3}$ der Druckhöhe, von unten gemessen, liegen.

Nach den von Wolfram gemachten Erfahrungen bre-

chen die Futtermauern auch in der Regel da, wo der Mittelpunkt der Erdpreſſungen iſt. Daher behauptet derſelbe, daß eine Mauer durch ihre Laſt der Umwälzung widerſtehen, während dennoch ihr innerer Zuſammenhang vom Seitenſchub aufgehoben werden, und ſie ſo zuſammenſtürzen könne.

Es haben aber mehrere Schriftſteller die Umwälzung einer Mauer als Bedingung des Einſtürzens angenommen. Bei der Annahme dieſer Vorausſetzung ſoll der Seitendruck der Erde gegen eine Mauer betrachtet werden, und da die Friction und Cohäſion der Erdmaſſe den Druck derſelben, nach Behauptung mehrerer Schriftſteller, vermindert, ſo muß die Wirkung dieſer beiden Eigenſchaften bei dem Drucke der Erde in Betrachtung gezogen werden.

Da aber ein ſolcher Halbkegel wie b d c ſich unter dem nämlichen Winkel wie h d i lagert, ſo ſcheint es, daß die durch den größern Druck doch nothwendig bewirkte größere Cohäſion keinen oder doch nur einen ſehr geringen Antheil an dieſer Erſcheinung hat, weil der Druck bei Vergrößerung der Höhe ſchneller wächſt als die Cohäſion, und daß es die Friction iſt, welche dabei hauptſächlich in Betrachtung kommt. Aus den von Woltmann angeſtellten ſinnreichen Verſuchen kann man den Lagerungswinkel c b d, welcher der Kürze wegen durch β in der Folge bezeichnet wird, für einerlei Erdart bei verſchiedenen Höhen des Erdhaufens, als unveränderlich, mithin als eine beſtändige Größe anſehen, woraus denn auch folgt, daß die Cohäſion gegen die Friction nur unbeträchtlich ſey. Es ſoll daher hier die Wirkung der Cohäſion ganz außer Acht gelaſſen, und nur die Wirkung der Friction und die Art, wie die in dem Raum a b c ſich ſenkenden und auf die Seitenwand a b drückenden Erdtheilchen wirken, betrachtet werden.

Man kann die Durchſchnitte a b c, a b f, a b e als keilförmige Maſſen anſehen, welche nach den Geſetzen des Keils durch ihre Schwere auf die Flächen b c und a b wirken. Bleibt aufgehäufte Erde unter irgend einem Böſchungswin-

Digitized by Google

kel gegen den Horizont, z. B. unter dem Winkel dbc = β, ruhig liegen, so hat am Abhang bc jedes Erdtheilchen, dessen Gewicht p ist, ein Bestreben, nach der Richtung bc zu sinken = p . Sin β und verursacht senkrecht auf bc einen Druck = p . Cosin β. Hiervon entsteht eine Reibung = np . Cosin β, wenn das Verhältniß des Druckes zur Reibung bei Erde auf Erde = 1 : n gesetzt wird. Da nun jedes Erdtheilchen in Ruhe bleibt, so muß hier die Reibung eben so groß seyn, als die Kraft, mit welcher es herabfallen würde, oder

p . Sin β = np . Cosin β daher

n = Tang β

Nach dem von Wolfram angegebenen Neigungswinkel β kann daraus das Verhältniß der Reibung zum Druck oder n gefunden werden.

§. 91. Bei Bestimmung des Erddruckes gegen eine Mauer muß man stets den Fall annehmen, bei welchem die Erde den größten Druck ausübt, weil man alsdann, wenn die Mauer hiernach proportionirt wird, überzeugt seyn kann, daß kein Erddruck entsteht, welcher die Mauer umzuwerfen vermag.

Angenommen, daß es der Winkel b = acb Fig. 95 sey, bei welchem die gesammte Wirkung der mit bc parallel gegen ab drückenden Erdtheilchen am größten ist, so kann man, um den Druck auf ab zu berechnen, cbn als völlig ruhig ansehen, und blos die Wirkung des Keils abc betrachten. Denkt man sich das Gewicht Q des Erdkörpers abc im Punkte g vereinigt und durch die Linie gd ausgedrückt, so zerlegt sich gd in zwei andere Kräfte, wovon die eine ge die Erdmasse abc nach der Richtung bc mit einer Kraft ge = Q . Cosin acb = Q . Cosin b fortzubewegen strebt; die andere Kraft gf verursacht einen senkrechten Druck gf = Q Sinus acb = Q . Sin b. Hiervon entsteht eine Reibung = Q . Sin b . Tang β. Wird der Widerstand P durch die Horizontale gh vorgestellt, und in zwei Kräfte, nach den Richtungen gk und gi mit bi parallel und darauf senkrecht zerlegt, so ist

gk = P . Cosin b, welche der Kraft entgegenwirkt und

gi = P Sin b, welche eine Reibung auf bc = P . Cosin b . Tang β. Folglich hat man für den Zustand des Gleichgewichts

P . Sin b = Q . Cosin b — Q . Sin b . Tang β — P Cosin b . Tang β oder $P = Q\left(\frac{\text{Cosin b} - \text{Sin b . Tang } \beta}{\text{Sin b} + \text{Cosin b . Tang } \beta}\right)$

Es ist $Q = \frac{ab^2}{2}$. Tang b $= \frac{ab^2}{2} \cdot \frac{\text{Sin b}}{\text{Cosin b}}$

Dies verwandelt den Ausdruck für P nach gehöriger Reduction im folgenden

$$\frac{ab^2}{2}\left(\frac{1 - \text{Tang b . Tang } \beta}{1 + \text{Cotang b . Tang } \beta}\right)$$

Der Werth von Tang b = Sec . β — Tang β giebt für Cotang b = Sec β + Tang β; denn

$$\text{Cotang b} = \frac{1^2}{\text{Tang b}} = \frac{\text{Sec } \beta^2 - \text{Tang } \beta^2}{\text{Sec } \beta - \text{Tang } \beta} = \text{Sec } \beta + \text{Tang } \beta.$$

Wird nun dieser Werth für Tang b und für Cotang b in der Gleichung substituirt, so erhält man

$$\frac{1 - \text{Tang } \beta\,(\text{Sec } \beta - \text{Tang } \beta)}{1 + \text{Tang } \beta\,(\text{Sec } \beta + \text{Tang } \beta)} = \frac{\text{Sec } \beta^2 - \text{Tang } \beta \text{ Sec } \beta}{\text{Sec } \beta^2 + \text{Tang } \beta \text{ Sec } \beta}$$

Setzt man für Sec $\beta = \frac{1}{\text{Cosin } \beta}$ und für Tang $\beta = \frac{\text{Sin } \beta}{\text{Cosin } \beta}$ in die Gleichung, so erhält man nach gehöriger Rechnung die Formel

$$\frac{1 - \text{Sin } \beta}{1 + \text{Sin } \beta}. \text{ Also } P = \frac{ab^2}{2} \cdot \left(\frac{1 - \text{Sin } \beta}{1 + \text{Sin } \beta}\right)$$

welches der von Woltmann (Beiträge 3ter Bd. S. 175) gefundene Ausdruck ist, wenn auf die Reibung der Erde gegen die Mauer nicht Rücksicht genommen wird.

Der Druck der Erde strebt in der Richtung Pg an dem Punkt b die Mauer umzuwerfen, und wirkt mit dem Hebelarm $\frac{1}{3}$ ab. Die Mauer widersteht durch ihr Gewicht mit dem Hebelarm $\frac{1}{2}$ m b. Es sey die specifische Schwere

Digitized by Google

der Mauer = S, so giebt S mit mb, ab multiplicirt das absolute Gewicht der Mauer. Wird nun das Gewicht eines Kubikfußes Erde = e gesetzt, so war für den Zustand des Gleichgewichts

$$\frac{ab^2}{2} \cdot \tfrac{1}{3} a\,b \cdot e \cdot \left(\frac{1 - \operatorname{Sin}\beta}{1 + \operatorname{Sin}\beta}\right) = mb \cdot ab \cdot s \cdot \frac{mb}{2} \text{ oder}$$

$$\tfrac{1}{3} ab^2 \cdot e \cdot \left(\frac{1 - \operatorname{Sin}\beta}{1 + \operatorname{Sin}\beta}\right) = mb^2 S$$ folglich ist die Stärke der Mauer

$$mb^2 = \frac{ab^2}{3} \cdot \frac{e}{s} \cdot \left(\frac{1 - \operatorname{Sin}\beta}{1 + \operatorname{Sin}\beta}\right)$$

Dieser Ausdruck für mb^2 verwandelt sich in $\frac{ab^2}{3} \cdot \frac{e}{s}$, wenn $\beta = 0$ oder die Erde eine Flüssigkeit wird.

Ueber die Theorie der Futtermauern findet man in nachstehenden Schriften Unterricht:

Belidor, Ingenieurwissenschaft. Aus dem Franz. übersetzt. Nürnberg 1757.

Bossut's und Viallet's Untersuchung über die beste Construction der Deiche. Aus dem Franz. übersetzt von C. Kröncke. Frankfurt a. M. 1798.

C. L. Brüning's Verhandeling over de zydelingsche drukking der Aarde, ende hiernaar te regelen afmetingen der muuren (1803).

Coulomb Essai sur une application des règles de maximis et minimis à quelques problèmes de statique, relatifs à l'architecture. — Mémoires de mathématique et de physique présentés à l'acad. de Paris, année 1773.

Couplet de la poussée des terres contre leurs revêtements, et la force des revêtemens, qu'on leur doit opposer. Mémoir. de l'académ. de Paris, année 1726. Eine deutsche Uebersetzung befindet sich in Böhm's Magazin, 12tem Bde, Frankfurt 1795.

Digitized by Google

F. Kinsky Abhandlung vom Drucke der Erde auf Futtermauern, von v. Zach. Wien 1788.

Prony: Neue architectura hydraulica 1ſter Theil, 1ſter Band. Aus dem Franz. überſetzt. Frankfurt 1794.

R. Woltmann Beiträge zur hydrauliſchen Architectur. Göttingen 1791, 1799.

N. Ypey Verhandeling over de profilen der muuren. Eine deutſche Ueberſetzung befindet ſich in Böhm's Magazin für Ingenieure und Artilleriſten, 4tem Bde., Gießen 1778.

Digitized by Google

Zweiter Abschnitt.

Von den Bewegungen der Körper und den Wirkungen der Kräfte auf feste Körper.

Einleitung.

Beide Gegenstände bieten der Untersuchung ein weites, reichhaltiges Feld dar, wenn sie in ihrer ganzen Ausdehnung betrachtet werden sollen. Da aber dies zu weit über die Grenzen führen würde, welche für den Zweck dieses Werkes bezeichnet sind, so sollen nur die unentbehrlichsten Sätze, welche zur Erklärung der Bewegung der Körper und zur Vorbereitung auf die Kenntniß der Kräfte und Wirkungen von Maschinen nöthig scheinen, in gedrängter Kürze hier vorgetragen werden.

Von der Bewegung der Körper im Allgemeinen.

§. 92. Wenn alle auf einen Körper wirkende Kräfte unter einander im Gleichgewichte stehen, oder ihre Wirkungen gegenseitig aufheben, so befindet sich der Körper im Zustande der Ruhe. Wird eine dieser zum Gleichgewicht vereinten Kräfte auf einen oder mehrere Augenblicke aufgehoben, so kann das Gleichgewicht nicht mehr bestehen, son-

Digitized by Google

dern es erfolgt Bewegung. Die in diesem Augenblicke eingetretene Bewegung muß ihrer Größe nach unverändert fortdauern, so lange keine Veränderung im Verhältnisse der auf den Körper wirkenden Kräfte erfolgt. Diese Eigenschaft nennt man die Trägheit, besser das Beharrungsvermögen der Körper.

Von der gleichförmigen Bewegung.

§. 93. Die Bewegung eines blos nach dem Gesetze der Beharrlichkeit sich fortbewegenden Körpers, der also in gleichen Zeittheilchen gleiche Räume durchläuft, heißt die gleichförmige, und der im Fußmaaß ausgedrückte Raum, den ein Körper bei einer fortgesetzten gleichförmigen Bewegung in einer bestimmten Zeit, gewöhnlich in einer Secunde, durchläuft, heißt die Geschwindigkeit. Ist also in diesem Sinne die Geschwindigkeit eines Körpers = C, der in T Secunden zurückgelegte Raum = S, so verhält sich für die gleichförmige Bewegung

1 : T = C : S, hieraus folgt

1) $C = \frac{S}{T}$ d. h. der Raum dividirt durch die Zeit, giebt die Geschwindigkeit.

2) S = CT d. h. der Raum ist gleich der Geschwindigkeit, multiplicirt mit der Zeit.

3) $T = \frac{S}{C}$ d. h. die Zeit ist gleich dem Raume, dividirt durch die Geschwindigkeit.

Sind Geschwindigkeit und Zeiten zweier gleichförmig bewegten Körper ungleich, so verhalten sich ihre Wege s : S = ct : CT wie die Producte aus den Zeiten in die Geschwindigkeiten, d. i. sie sind in dem zusammengesetzten Verhältnisse der Geschwindigkeiten und der Zeiten.

§. 94. Die auf einen Körper wirkenden Kräfte, um eine Veränderung im Zustande des Körpers hervorzubrin-

Digitized by Google

gen, sind uns nur durch ihre Wirkungen bekannt; daher können nur jene durch diese abgemessen werden. Da nun die Wirkung einer Kraft von der jedem einzelnen Körpertheilchen mitgetheilten Geschwindigkeit und von der Menge dieser Körpertheilchen abhängt, so ist das Maaß der Wirkung der bewegenden Kraft das Product aus der Geschwindigkeit des Körpers in die Menge seiner Theilchen, oder das Product aus der Geschwindigkeit in die Masse des Körpers. Daher verhält sich eine Kraft wie das Product aus der Geschwindigkeit, die sie der Masse eines Körpers mitzutheilen im Stande ist, in diese Masse; und wenn mehrere Kräfte auf einen Körper wirken, so verhalten sich also auch ihre Wirkungen oder Effecte wie die bewegenden Kräfte, und diese letzteren wiederum wie die Producte der Massen in ihre Geschwindigkeiten, oder, welches gleich viel ist, wie die Momente ihrer Bewegung, folglich werden Kräfte durch die Größen der Bewegung gemessen, welche sie hervorzubringen im Stande sind.

Bezeichnet daher p, P die bewegenden Kräfte, m. M die Massen zweier Körper, und c C die ihnen mitgetheilten Geschwindigkeiten, so hat man allgemein

$$p : P = mc : MC.$$

Nimmt man $m = M$, so ist $p : P = c : C$, also verhalten sich bei gleichen Massen die bewegenden Kräfte wie die Geschwindigkeiten. Nimmt man dagegen $c = C$, so ist $p : P = m : M$; mithin verhalten sich bei gleichen Geschwindigkeiten die bewegenden Kräfte wie die Massen. Nimmt man endlich $p = P$, so ist $\frac{1}{C} : \frac{1}{c} = M : m$, folglich verhalten sich, bei gleichen bewegenden Kräften, die Geschwindigkeiten umgekehrt wie die Massen.

§. 95. Wenn verschiedene Kräfte auf gleiche Körper wirken, so verhalten sich, unter übrigens gleichen Umständen, die Kräfte wie die von ihnen erzeugten Geschwindigkeiten. Da sich also die Geschwindigkeit wie

Digitized by Google

die Kraft verhält, so kann jede von diesen beiden Größen durch die andere dargestellt werden, und alles, was über die Zusammensetzung und die Zerlegung der Kräfte im ersten Abschnitte angeführt ist, kann auf die Zusammensetzung und Zerlegung der Geschwindigkeiten angewandt werden. Wir bemerken nur kürzlich folgende Lehrsätze.

Wenn zwei Kräfte von verschiedenen durch Linien angedeuteten Geschwindigkeiten und Richtungen auf einen Punkt eines Körpers gleichzeitig durch den Stoß wirken, und mit diesen linearen Geschwindigkeiten ein Parallelogramm beschrieben wird, so durchläuft der Körper mit gleichförmiger Bewegung die Diagonale des Parallelogramms, dessen Seiten in den Richtungen der gedachten Kräfte liegen. Folglich ist die Diagonale die Richtung und mittlere Geschwindigkeit, welche aus den beiden Seitengeschwindigkeiten zusammengesetzt ist. Auch kann man umgekehrt sich jede Geschwindigkeit wieder in Seitengeschwindigkeiten zerlegt vorstellen.

Bewegt sich ein Körper nach der Richtung CD Fig. 96 mit der Geschwindigkeit C = DG und stößt auf eine seiner Richtung widerstrebende Ebene AB unter dem Winkel CDA = a, so verliert er an seiner Geschwindigkeit so viel, als das Product anzeigt, wenn man die ursprüngliche Geschwindigkeit mit dem Sinusversus des Neigungswinkels multiplicirt. Man zerlege DG in die auf AB senkrechte Kraft DF und die in ihr liegende DE, so wird DF von der Ebene aufgehoben, und der Körper behält nur noch nach der Richtung DE die Geschwindigkeit zur Fortsetzung der Bewegung

$$DE = C \cdot \text{Cosin } a$$

weil Cosin a = 1 — Sin vers a, so ist

$$DE = C - C \cdot \text{Sin} \cdot \text{vers } a.$$

Wäre der Körper durch ein Hinderniß genöthigt, sich in einer krummen Linie mEB Fig. 96, welche von seiner ersten Richtung tangirt wird, zu bewegen, so wird der Neigungswinkel unter dieser Voraussetzung zu o, daher auch

Digitized by Google

Sin vers a = o, folglich bleibt seine anfängliche Geschwindigkeit unverändert.

Von der gleichförmig beschleunigten Bewegung.

§. 96. Eine beschleunigende Kraft wird jede Kraft genannt, welche so auf einen Körper wirkt, daß sie dessen Bewegung verändert. Wirkt die Kraft fortwährend und überall gleich stark auf einen Körper, derselbe mag ruhen, sich schnell oder langsam bewegen, so heißt sie eine beständige oder absolute Kraft. Wirkt die Kraft anders in einem ruhenden, und anders in einem verschiedentlich bewegten Körper, so heißt sie eine relative oder veränderliche Kraft. Wenn die Kraft in gleichen Zeiträumen auf gleiche Art wirkt, oder in der Geschwindigkeit gleiche Veränderungen hervorbringt, so nennt man sie eine beständige oder gleichförmig beschleunigende, oder eine gleichförmig verneinte oder verzögernde Kraft, je nachdem sie die Geschwindigkeit des sich bewegenden Körpers zu vermehren oder zu vermindern strebt.

Wenn eine Kraft ununterbrochen auf einen Körper gleichförmig fortwirkt, und demselben in gleichen Zeittheilchen gleiche Eindrücke mittheilt, so wird der Körper vermöge des aufgenommenen Eindruckes der Kraft im 1sten Zeittheilchen ein Raumtheilchen = 1 durchlaufen; im 2ten Zeittheilchen vermöge der Beharrlichkeit ohne neuen Eindruck wiederum einen Raum = 1, und vermöge des neuen Eindruckes gleichfalls einen Raum = 1, also in diesem 2ten Zeittheilchen einen Raum = 2, ebenso im 3ten Zeittheilchen vermöge der Beharrlichkeit (oder der schon erlangten Geschwindigkeit) einen Raum = 2 und wegen des dritten Eindruckes noch den Raum = 1, also im 3ten Zeittheilchen einen Raum = 3 u. s. w. Mithin wächst die Geschwindigkeit in jedem gleichen Zeittheilchen gleichviel, daher verhält sich die Geschwindigkeit nach Verlauf einer jeden bestimmten Zeit, wie die Zeit. Man nenne t, T zwei bestimmte Zeiten von

verschiedener Größe, die zugehörigen Geschwindigkeiten c C, so hat man

$$c : C = t : T.$$

Bedeutet nun m und n eine unbestimmte Größenzahl, so drücken die Glieder der folgenden arithmetischen Reihe die während m Zeittheilchen den Raum

$$1 + 2 + 3 + 4 - - - + m = \frac{(m+1)\,m}{2}$$

und eben so die während n Zeittheilchen den Raum aus

$$1 + 2 + 3 + 4 - - - + n \frac{(n+1).n}{2}$$

Man nenne die in m Zeittheilchen durchlaufenen Räume s, den in n Zeittheilchen durchlaufenen Raum S, so hat man

$$s : S = \frac{(m+1).m}{2} : \frac{(n+1).n}{2} = (m+1).m : (n+1).n$$

Setzt man nun für m und n eine sehr große Zahl, so kann man ohne merklichen Fehler das Verhältniß $(m+1).m : (n+1).n$ mit $m^2 : n^2$ für gleichgeltend annehmen; dies giebt

$$s : S = m^2 : n^2$$

Werden die Zeiten, in welchen die Räume von angeblicher Größe s, S durchlaufen werden, durch t T ausgedrückt, so hat man allgemein

$$(A)\ s : S = t^2 : T^2$$

Da nun $c : C = t : T$, so entsteht auch das Verhältniß $s : S = c^2 : C^2$

d. h. die von einem Körper mit gleichförmig beschleunigter Bewegung durchlaufenen Räume verhalten sich wie die Quadrate der Zeiten, oder wie die am Ende der Zeiten erlangten Geschwindigkeiten. Daher auch

$$\sqrt{s} : \sqrt{S} = t : T = c : C$$

d. h. sowohl die Geschwindigkeiten als die Zeiten verhalten sich wie die Quadratwurzeln aus den vom Anfange der Bewegung an durchlaufenen Räumen.

Digitized by Google

Aus dem Obenstehenden ist es einleuchtend, daß der von dem Körper in n Zeittheilchen mit gleichförmiger Geschwindigkeit durchlaufene Raum = 2S beträgt. Demnach ist die am Ende von n Zeittheilchen oder am Ende der Zeit T erlangte Geschwindigkeit $= \frac{2S}{T}$. Wird also die am Ende der Zeit T erlangte Geschwindigkeit = C gesetzt, so hat man

(B) $C = \frac{2S}{T}$ wo T die Anzahl von Secunden bedeutet, in welcher der Körper den Raum S durchlaufen hat.

Für eine andere Zeit t, Geschwindigkeit c, hat man eben so $c = \frac{2s}{t}$. Setzt man die Zeit t = 1, eine Secunde, Minute u. dgl., so hat man c = 2s d. h. die Geschwindigkeit nach Verlauf der Zeiteinheit ist der doppelten Beschleunigung während der Zeit gleich. Da nun

$c : C = t : T$ so hat man die Geschwindigkeit C nach jeder andern gegebenen Zeit

$$C = c\frac{T}{t} = T\frac{2s}{t} = T.2s \text{ weil } t = 1 \text{ ist.}$$

Vom Falle und Aufsteigen der Körper in lothrechter Linie.

§. 97. Die Schwere kann, allen Erfahrungen gemäß, als eine solche Kraft angesehen werden, die unaufhörlich und in jedem Augenblicke auf jeden Theil der Materie auf gleiche Art wirkt. Erhält nun jeder Theil eines Körpers einerlei Geschwindigkeit, so wird der Körper selbst, als Summe aller seiner Theile, sich mit einer Geschwindigkeit bewegen, die eben so groß ist, als die, welche jedem unendlich kleinen Theilchen desselben mitgetheilt worden. Es hängt daher die Geschwindigkeit, welche die Schwere irgend einer Masse mittheilt, nicht von der Größe dieser Masse ab; sie ist mithin

Digitized by Google

für die größte Masse ebensowohl als für die kleinste einerlei.

Galilei, der als der Erfinder der dynamischen Wissenschaften angesehen werden kann, hat auf dem Wege der Erfahrung zuerst erwiesen, daß es eine gleichförmig beschleunigte Bewegung sey, mit welcher die Körper lothrecht zur Erde fallen (s. Dialoghi delle scienze nuove, zuerst zu Leyden im Jahre 1637 gedruckt). Das von ihm aufgestellte Gesetz über den Fall freier Körper ist aus spätern Beobachtungen mit dem Pendel weit genauer bestimmt worden. Man hat damit gefunden, daß ein Körper, welcher frei fällt, in der ersten Secunde einen Raum von 15$\frac{1}{12}$ rheinl. Fuß durchläuft, wenn seine Bewegung vom Zustande der Ruhe anfängt.

Allgemein findet man aus der gegebenen Zeit die Höhe des Falles, wenn man das Quadrat der Zeit in Secunden ausdrückt und mit der Fallhöhe in einer Secunde multiplicirt.

Die zu einer gegebenen Geschwindigkeit gehörige Höhe (die Geschwindigkeitshöhe) ist diejenige Höhe, von welcher ein Körper frei herabfallen muß, um jene Geschwindigkeit zu erlangen, und die zu einer gegebenen Höhe gehörige Geschwindigkeit ist diejenige Geschwindigkeit, welche ein Körper erlangt hat, je nachdem er durch jene Höhe frei herabgefallen ist.

Bezeichnet man die Fallhöhe in einer Secunde $= g$ und schreibt also 1 statt T, so hat man vermöge (B) des vorhergehenden §.

(A) $C = 2g$

für die Geschwindigkeit des Körpers am Ende der ersten Secunde. — Wenn man aber wegen der in gleichen Zeiten von der beständigen Kraft erhaltenen neuen Eindrücke die in t Secunden bewirkte Geschwindigkeit mit c bezeichnet, so hat man

$1 : t = C : c = 2g : c$ daher die Geschwindigkeit

(B) $c = 2g \cdot t = 31\frac{1}{12}t$

Digitized by Google

Wenn der in t Secunden durchlaufene Raum mit s bezeichnet wird, so hat man vermöge (A) des vorhergehenden §.

$$s : g = t^2 : 1 \text{ also}$$

$$s = t^2 . g \text{ und } t = \sqrt{\frac{s}{g}}. \text{ Auch ist aus (B) } t = \frac{c}{2g}$$

daher ist $\frac{c^2}{4g^2} = \frac{s}{g}$ oder

$$\text{(C)} \quad s = \frac{c^2}{4g} \text{ und } c = 2\sqrt{gs}.$$

Wenn der Körper bei Anfang des Falles nicht im Zustande der Ruhe gewesen ist, sondern schon eine Geschwindigkeit v nach derselben Richtung gehabt hat, und nun seine Geschwindigkeit nach t Secunden von dem Augenblicke an, als die absolute Kraft nach derselben Richtung zu wirken anfing, V heißt, so ist

$$\text{(D)} \quad V = v + 2gt$$

Vermöge seiner anfänglichen Geschwindigkeit durchläuft der Körper den Weg vt und wegen der Einwirkung der Schwere in der Zeit t den Weg gt^2; daher ist der ganze durchlaufene Raum s in der Zeit t

$$s = vt + gt^2 \text{ oder } s = vt - gt^2$$

je nachdem die Geschwindigkeit nach unten oder nach oben mitgetheilt ist, wo s in derselben Richtung als jene genommen wird. Im zweiten Falle ist

$V = v - 2g.t$ wie leicht einzusehen ist, weil die von der Schwere in einer nach unten zu gekehrten Richtung am Ende der Zeit t durch $2g.t$ ausgedrückt werden muß. Hieraus folgt, daß der Körper so lange zu steigen fortfährt, als v größer ist als $2g.t$; daß der Körper an der Stelle, wo $v = 2g.t$, seine größte Höhe erreicht hat, und endlich, daß, wenn v größer als $2g.t$, V negativ werden, d. h. der Körper wieder herabfallen muß, weil die Anfangsgeschwindigkeit von der Schwere aufgehoben worden ist. Es kann demnach ein mit der Geschwindigkeit v vertical aufwärts geworfener Körper keine größere Höhe h erreichen, als diejenige ist, von welcher er bei dem freien Falle herunter fal-

Digitized by Google

len würde, um die Geschwindigkeit v zu erlangen; denn während des Steigens raubt ihm die Schwere, als eine unveränderlich wirkende Kraft, in jedem Zeittheilchen eben so viel Geschwindigkeit, wie er durch den freien Fall erhalten hat. Die Schwere wirkt daher als eine gleichförmig verzögernde Kraft, und die Geschwindigkeit des Körpers nimmt deshalb nach demselben Gesetze ab, als sie im Fallen zunahm, weshalb der Körper in eben der Zeit diejenige Höhe erreichen muß, die er beim Fallen durchlaufen würde. Es ist daher auch hier die größte Höhe $= \frac{v^2}{4g}$ und die Zeit, in welcher diese erreicht wird $= \frac{v}{2g}$. Der Körper, welcher am Ende der Zeit $t = \frac{v}{2g}$ den Raum $\frac{v^2}{4g}$ durchlaufen hat, wird also, um wieder bis zu dem Punkte herabzufallen, von welchem er seine Bewegung angefangen hat, eben so viele Zeit brauchen, als erforderlich war, um seine größte Höhe zu erreichen, und hat nach beendigtem Falle eine Geschwindigkeit V erlangt, die eben so groß ist als die, mit der er nach oben getrieben wurde.

Vom Falle auf der geneigten Ebene.

§. 98. Wenn ein Körper auf einer geneigten Ebene herabgleitet oder herabrollt, so erhält derselbe eine gleichförmig beschleunigte Geschwindigkeit, die aber größer oder kleiner wird, je nachdem die schiefe Ebene mehr oder weniger gegen den Horizont geneigt ist. Es gelten daher die für beschleunigte Bewegungen bereits angeführten Gesetze auch für solche auf schiefen Ebenen, so daß beim Falle auf einerlei Ebene oder auf solchen von gleichen Neigungen die erlangten Geschwindigkeiten sich wie die Quadratwurzeln der von der Ruhe an durchlaufenen Räume verhalten; ferner die durchlaufenen Räume wie die Quadrate der Geschwindigkeiten, oder wie die Quadrate der Zeiten; und wenn

Digitized by Google

ein Körper auf einer geneigten Ebene mit der Geschwindigkeit in die Höhe geworfen wird, die er durch das Herabfallen erhalten hat, so wird er seine ganze Bewegung verlieren und bis zu der Höhe steigen, von welcher er in derselben Zeit herabgefallen war, und in jedem Punkte der Ebene dieselbe Geschwindigkeit haben, die er in demselben beim Herabfallen hatte. — Da das relative Gewicht eines Körpers = P auf der geneigten Ebene ABC Fig. 97, oder die Gewalt, mit welcher der Körper nach der Richtung AB getrieben wird = P. Sin a, unverändert bleibt, so ist P. Sin a die bewegende Kraft, welche den Körper von A bis B gleichförmig beschleunigt bewegt. Man findet daher die Beschleunigung G desselben

$$G = g \cdot \frac{P \text{ Sin } a}{P} = g \text{ . Sin } a = g \frac{AC}{AB}.$$

Hieraus folgt, daß sich bei der schiefen Ebene die Beschleunigungen wie die Höhen der schiefen Ebenen dividirt durch ihre Längen verhalten.

Ferner ist die Geschwindigkeit eines frei fallenden Körpers in der Zeit T = 2g . T. Auf der schiefen Ebene erhält der Körper in eben der Zeit die Geschwindigkeit 2g . T. Sin a, daher verhält sich diese Geschwindigkeit, wie

1 : Sin a = AB : AC d. h. die Geschwindigkeit, welche ein Körper mittelst des freien Falles erlangt, verhält sich zu der auf einer schiefen Ebene in eben derselben Zeit erlangten Geschwindigkeit wie die Länge der Ebene zu ihrer Höhe.

Auch ist die Höhe eines frei fallenden Körpers H = gT^2 — Der durchlaufene Raum auf einer schiefen Ebene in derselben Zeit S = gT^2 Sin a. Es verhält sich daher

H : S = 1 : Sin a = AB : AC d. h. der durchfallene Raum eines Körpers verhält sich zu dem auf einer schiefen Ebene in derselben Zeit zurückgelegten Wege, wie die Länge der schiefen Ebene zu ihrer Höhe.

Digitized by Google

Uebrigens ist zu bemerken: daß ein Körper jede Sehne im Halbkreise, die aus den Endpunkten eines verticalen Durchmessers gezogen wird, in derselben Zeit durchläuft, als er diesen Durchmesser frei durchfallen würde; ferner, daß ein Körper dieselbe Geschwindigkeit erhält, er möge auf einer bogenförmig gekrümmten Ebene herabgleiten, oder die senkrechte Höhe desselben durchfallen.

Diese beiden Lehrsätze lassen sich, ohne einen Beweis dafür anzuführen, leicht erklären, so wie auch, daß die erlangte Geschwindigkeit eines durch die Höhe einer schiefen Ebene vertical gefallenen Körpers eben so groß ist, als diejenige, welche der Körper durch das Herabgleiten auf der schiefen Ebene erhält.

Von der Kreisbewegung.

§. 99. Ein Körper wird vermöge seiner ihm eigenthümlichen Trägheit oder Beharrlichkeit in dem Zustande, worin er sich befindet, so lange beharren, bis ihn eine andere Kraft denselben zu verlassen nöthigt. Aus derselben Ursache wird auch ein Körper, sobald er einmal in Bewegung gesetzt ist, insofern er hierin nicht auf Hindernisse stößt, in jenem Zustande mit derselben Geschwindigkeit und nach derselben Richtung beharren, und kein Körper kann sich in einer krummen Linie bewegen, wenn auf ihn nicht eine beständige Kraft wirkt oder wenn er nicht fortwährend auf Hindernisse stößt, wodurch seine Richtung in jedem Augenblicke geändert wird. Wenn die Kraft, welche auf einen bewegten Körper nach einer andern Richtung als der wirkt, nach welcher ihm (zuvor) Bewegung mitgetheilt ist, und jenes nach Zeiträumen von endlicher Größe je so geschieht, daß dem Körper nach Ablauf jedes solchen Zeitraums eine bestimmte Geschwindigkeit mitgetheilt wird, so muß der Körper ein Vieleck (eine gebrochene Linie) beschreiben. Wenn aber dem Körper zuerst eine endliche Geschwindigkeit mitgetheilt worden, und die Kraft, welche ihn von seiner Bahn

Digitized by Google

ablenkt, fortwährend und ohne Unterbrechung wirkt, so wird der Körper eine krumme Linie durchlaufen.

Ein Körper, der sich in einer krummlinigen Bahn bewegt, kann in jedem Augenblicke so angesehen werden, als bewegte er sich nach der Tangente der krummen Linie, in dem Punkte, in dem er sich gerade befindet; und wenn die den Körper ablenkende Kraft als die, welche die Bahn des Körpers in jedem Augenblicke zu krümmen strebt, in irgend einem Augenblicke zu wirken aufhört, so wird er in seiner Bewegung nach der Richtung jener Tangente beharren.

Gehen die Ablenkungen nach einem gemeinschaftlichen Mittelpunkte, so heißt die ablenkende Kraft, welche den Körper fortwährend nach diesem Mittelpunkte zu ziehen oder zu treiben strebt, die Centripetalkraft. Die Tangentialkraft ist die Kraft, vermöge welcher der Körper sich in der Tangente seiner Bahn fortbewegen würde, wenn ihn daran nicht die Centripetalkraft hinderte. Diese Kraft wirkt durch den Stoß. Die Kraft aber, welche den Körper von dem Mittelpunkte, nach welchem der Körper gezogen oder getrieben wird, zu entfernen strebt, wenn ihn daran nicht die Centripetalkraft hinderte, heißt die Centrifugalkraft oder Schwungkraft. Diese Kraft ist der Centripetalkraft bei Kreisbewegungen gerade entgegengesetzt, daher durch Vereinigung dieser beiden Kräfte, Centralkräfte genannt, die kreisförmige Bewegung entsteht.

Die Centripetal- und Tangentialkraft sind verschiedenartig, und können daher nicht mit einander verglichen werden; denn die eine wirkt unaufhörlich und die andere durch einen Stoß.

§. 100. Um das Verhältniß der Kräfte zu bestimmen, durch welche Körper, die ein Bestreben haben, sich dem Mittelpunkte gegebener Kreise zu nähern, dahin gebracht werden, die Umkreise der letztern zu durchlaufen, denke man sich den Bogen AE in Fig. 98 so klein, daß derselbe ohne merk-

Digitized by Google

lichen Fehler der Sehne gleichgesetzt werden kann, dann verhält sich wegen Aehnlichkeit der Dreiecke AFE und AEB

$FA : AE = AE : AB$ folglich

$AE^2 = AB \cdot AF = AC \cdot 2AF$; denn wenn ein Körper einen Raum von einem unendlich kleinen Bogen AE in einem gegebenen oder beständigen Zeitraume durchläuft, so verhält sich die Centripetalkraft in E wie das Doppelte von AF. Es ist also

$2AF = \frac{AE^2}{AC}$ Dasselbe kann für die Bewegung in jedem andern Umkreise erwiesen werden. Bezeichnen daher R und r die Halbmesser zweier Kreise, V und v die zugehörigen Centralkräfte, C und c die Geschwindigkeiten, mit welchen sich die Körper in dem zugehörigen Umkreise bewegen, so ist

$V : v = \frac{C^2}{R} : \frac{c^2}{r}$ und daher verhalten sich die Kräfte gerade wie die Quadrate der Geschwindigkeiten und umgekehrt wie die Halbmesser. —

Fällt der Mittelpunkt der Kraft in den des Kreises, so ist in einem Kreise die Geschwindigkeit gleichförmig; denn der Halbmesser, welcher normal auf der Tangente steht, ist eine beständige Größe.

Weil $V : v = \frac{C^2}{R} : \frac{c^2}{r}$ so ist

$C : c = \sqrt{RV} : \sqrt{rv}$

Vergleicht man diese Proportion mit dem Ausdrucke $s : \frac{c^2}{4v}$ für gleichförmig beschleunigte Bewegungen, so sieht man, daß die Geschwindigkeit überall der gleich ist, welche ein Körper erlangt haben würde, der vermöge derselben gleichförmigen Kraft durch den Halbmesser gefallen wäre.

Werden die Umlaufszeiten durch T und t ausgedrückt,

Digitized by Google

so verhalten sich die Geschwindigkeiten wie $\frac{R}{T} : \frac{r}{t}$ und dies giebt

$$\sqrt{RV} : \sqrt{rv} = \frac{R}{T} : \frac{r}{t} \text{ also auch}$$

$$V : v = \frac{R}{T^2} : \frac{r}{t^2}$$

$$R : r = VT^2 : vt^2$$

§. 101. Um das Verhältniß der Kraft, vermöge welcher sich ein Körper in einer gegebenen Kreislinie bewegt, oder um das Verhältniß der Schwungkraft zu der Schwere des Körpers zu bestimmen, nehme man an, daß die Schwere und Schwungkraft einander gleich sind. Wenn nun die Umlaufszeit in einem Kreise, dessen Halbmesser ϱ Fuß enthält, durch t in Secunden ausgedrückt wird, so erhält man (nach Gregory's Darstellung der mechanischen Wissenschaften, übersetzt von Dietlein, Bd. II. Cap. III. S. 298) folgendes Verhältniß, wenn r den Halbmesser der Erde = 21,000,000 Fuß bezeichnet

$$\frac{r}{\pi^2 \frac{4r}{2g}} : \frac{\varrho}{t^2}$$ wie die Schwere des Körpers zu seiner Schwungkraft, also wie

$$1 : \frac{4\pi^2\varrho}{2gt^2}.$$

Um die Geschwindigkeit, welche ein Körper bei der Kreisbewegung hat, zu bestimmen, suche man erst die Höhe, von welcher der Körper hätte frei herabfallen müssen, und setze dann das Verhältniß des Halbmessers des Kreises zu dem Doppelten jener Höhe, dem des Gewichts des Körpers zu seiner Schwungkraft gleich.

Der Umfang eines Kreises ist $= 2\pi\varrho$, wo ϱ den Halbmesser des Kreises bezeichnet. Wird nun die Umlaufszeit $= t$ gesetzt, so ist die Geschwindigkeit im Kreise $c = \frac{2\pi\varrho}{t}$

Aus den allgemeinen Gleichungen in §. 97 findet man die

Digitized by Google

Geschwindigkeit für die Fallhöhe eines Körpers $c = \sqrt{4g.s}$ folglich ist

$$\frac{2\pi\varrho}{t} = \sqrt{4g.s} \text{ daher}$$

$s = \frac{2\pi^2\varrho^2}{2gt^2}$ als dem Raume, durch den ein Körper frei fallen muß, um die Geschwindigkeit, welche die Kreisbewegung hat, zu erlangen. Es ist also einleuchtend, daß

$\varrho : \frac{4\pi^2\varrho^2}{2gt^2} = 1 : \frac{4\pi^2\varrho}{2gt^2}$ dem vorher angegebenen Werthe der Schwungkraft. —

Von der Kreisbewegung mehrerer schweren Punkte an einer steifen Linie.

§. 102. Die Eigenschaften der an einer gewichtlosen Linie, die sich um einen festen Punkt horizontal herumbewegt, in einer bestimmten Entfernung vom Drehpunkte befindlichen Masse sollen näher untersucht werden.

CD, Fig. 99, sey eine um C bewegliche gerade Linie ohne Schwere; an verschiedenen Stellen derselben A, B, D befinden sich die trägen Massen M, M′, M″. In E wirke auf die gerade Linie eine bewegende Kraft P senkrecht, welche nach Verlauf einer kleinen Zeit die Linie CD in die Lage Cd bringt; man sucht den Widerstand der einzelnen Massen gegen die Kraft P vermöge ihrer Trägheit. Wenn eine bewegende Kraft in einer trägen Masse unmittelbar wirkt, so ist erwiesen, daß der Widerstand der Masse in dem zusammengesetzten Verhältnisse der bewegten Masse und der Geschwindigkeit dargestellt werden kann.

Man nenne die Theile der Kraft P, welche zur Bewegung M, M′, M″ verwendet werden, p, p′, p″, so daß $p + p' + p'' = P$ sey, alsdann suche man die Kraft, welche

von p in A, von p′ in B, von p″ in D entsteht; diese Kräfte sind nach den Gesetzen des Hebels

$$\frac{p\,CE}{CA} = M \,.\, Aa$$

$$\frac{p'\,CE}{CB} = M' \,.\, Bb$$

$$\frac{p''\,CE}{CD} = M \,.\, Dd \quad \text{Hieraus folgt}$$

$$p = \frac{M \,.\, Aa \,.\, CA}{CE}$$

$$p' = \frac{M' \,.\, Bb \,.\, CB}{CE}$$

$$p'' = \frac{M'' \,Dd \,.\, Cd}{CE}$$

Setzt man für die Bogen Aa, Bb, Dd die Halbmesser CA, CB, CD und läßt den gemeinschaftlichen Divisor weg, so findet man das Verhältniß der Kräfte

$$p : p' : p'' = M \,.\, CA^2 : M' \,.\, CB^2 : M'' \,.\, CD^2$$

d. h. die von den trägen Massen herrührenden Widerstände verhalten sich wie die Producte der Massen in die Quadrate ihrer Entfernungen vom Drehungspunkte oder von der Achse.

Weil bei diesen gefundenen Verhältnissen keine Masse den andern in der Bewegung voreilt, so nennt man das Product einer Masse in das Quadrat ihrer Entfernungen vom Drehungspunkte das Moment der Trägheit der Masse, oder auch das Moment der Masse für diesen Drehungspunkt.

Sollen die Theile p, p′, p″ der Kraft P einander gleich seyn, so muß

$MCA^2 = M'CB^2 = M''CD^2$ seyn. Hieraus die Proportionen

$$M : M' = CB^2 : CA^2$$

$$M : M'' = CD^2 : CA^2$$

Die Massen verhalten sich umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen von dem Drehungspunkte; und wenn sie

Digitized by Google

sich so verhalten, so leisten sie der bewegenden Kraft gleichen Widerstand. — Werden die Geschwindigkeiten der Masse durch C, C′, C″ angedeutet, so daß selbige wie die in gleichen Zeiten durchlaufenen Wege oder Bogen Aa, Bb, Dd, oder auch wie die diesen Bogen zugehörigen Halbmesser verhalten, nämlich

$$CA : CB = C : C' \text{ und}$$
$$CA : CD = C : C'' \text{ also auch}$$
$$CA^2 : CB^2 = C^2 : C'^2$$
$$CA^2 : CD^2 = C^2 : C''^2$$

folglich $M : M' = C'^2 : C^2$

$$M : M'' = C''^2 : C^2 \text{ und}$$
$$M' . C'^2 = M . C^2$$
$$M'' . C''^2 = M . C^2$$

d. h. die Momente der Trägheit zweier Massen sind einander gleich, wenn die Producte der Massen in die Quadrate ihrer Geschwindigkeit gleich sind. Dieses Product ist für die ganze Maschinenlehre von der größten Wichtigkeit.

§. 103. Um die Beschleunigung G des von der Kraft P Fig. 99 angegriffenen Punktes E zu bestimmen, kommt es darauf an, die Masse M, M′, M″ nach der Lehre vom Momente der Trägheit auf die Entfernung E zu reduciren.

Man setze die Summe der Trägheitsmomente der Trägheit einer Masse x in der Entfernung CE = f gleich, und die Entfernung der Massen M, M′, M″ vom Drehpunkte CA = a

CB = b, CD = e so ist

$$f^2 x = a^2 M + b^2 M' + e^2 M'' \text{ und}$$
$$x = \frac{a^2 M + b^2 . M' + e^2 . M''}{f}$$

Da nun die Beschleunigung einer Masse gefunden wird, wenn der Druck, welchen die bewegende Kraft ausübt, durch

Digitized by Google

das Gewicht der Masse dividirt und mit $g = 15\frac{1}{12}$ Fuß multiplicirt wird, so ist die gesuchte Beschleunigung

$$G = \frac{gf^2 P}{a^2 M + b^2 M' + c^2 M''}$$

Allgemein gilt folgendes Gesetz für die Bestimmung der Beschleunigung eines Punktes in einem System, welches von mehreren Kräften angegriffen ist, daß man die Summe der statischen Momente der Kräfte durch die Summe von den Momenten der Trägheit der Masse dividirt, und den Quotient mit der Entfernung vom Umdrehungspunkte und mit g multiplicire.

§. 104. Sind nicht alle körperliche Theile einer Masse gleich weit vom Umdrehungspunkte entfernt, wie in den vorhergehenden Untersuchungen angenommen wurde, so muß man für jedes Elementartheilchen des Körpers das Moment der Trägheit suchen, da denn die Summe aller dieser Momente, welche aus der Masse jedes Elementes multiplicirt in das Quadrat seiner Entfernung vom Drehungspunkte entstehen, das Moment der Trägheit des ganzen Körpers gäbe. Die höhere Analysis lehrt die Summe von den Momenten der einzelnen Elementartheilchen der Masse ohne eine mühsame Summation zu finden; hier aber begnügen wir uns, die durch sie erhaltenen Resultate in Anwendung zu bringen. Es möge deshalb die Summe der Trägheitsmomente aller Elemente durch $Z^2 M$ ausgedrückt werden, wenn nämlich M die Masse des Körpers in einen Punkt vereinigt und Z die Entfernung des letztern vom Drehpunkte bezeichnet.

Wenn demnach die Kraft P in einer senkrechten Richtung auf die Achse, um welche die Masse gedreht werden soll, und in der Entfernung f vom Drehpunkte wirkt, so ist die Beschleunigung G der obigen Masse

$$G = \frac{gf^2 P}{Z^2 M}$$

Digitized by Google

In Eytelwein's Handbuch der Mechanik fester Körper vom §. 65 bis 82 findet man das Trägheitsmoment von verschiedenen Körpern berechnet. —

Vom Stoße der Körper.

§. 105. Die plötzliche, nur einen Augenblick dauernde Einwirkung einer Kraft auf einen Körper wird Stoß genannt. Trifft ein bewegter Körper in seiner Bahn auf ein festes Hinderniß oder auf einen andern in Bewegung befindlichen Körper, so ist die durch den Stoß entstehende Wirkung sehr verschieden, je nachdem die Körper aus einer harten, weichen oder elastischen Materie bestehen, oder die Hindernisse, auf welche der Körper trifft, fest und unbeweglich, oder ebenfalls beweglich sind.

Ist die Linie, welche die Schwerpunkte der gegen einander stoßenden Körper verbindet, zugleich die Richtungslinie der Bewegung, und stehen die bei dem Stoße sich berührenden Flächen auf dieser Richtungslinie senkrecht, so wird der Stoß central genannt; schief oder excentrisch heißt der Stoß, wenn beide Bedingungen nicht eintreten.

Wenn ein bewegter Körper gegen einen ruhenden, übrigens aber von seinem Orte zu bewegenden Körper stößt, und die Größe der Bewegung des erstern überwiegt die Kraft des Druckes, welche der ruhende Körper gegen die Unterlage ausübt, so wird der Stoß des ersteren dem ruhenden Körper eine Bewegung mittheilen, hierdurch aber seiner eigenen Bewegungskraft einen verhältnißmäßigen Theil entziehen. Dieser Verlust wird größer oder kleiner, je nachdem der ruhende Körper sich dem stoßenden entgegen oder beide nach einerlei Richtungen sich bewegen, wenn in letzterem Falle der folgende Körper eine größere Geschwindigkeit als der vorausgehende hat.

Digitized by Google

Vom Stoße harter und unelastischer Körper.

§. 106. Ein harter oder unelastischer Körper heißt ein solcher, dessen Theile einem Schlage oder Stoße nicht nachgeben, und der seine Figur unverändert behält.

Wenn die Massen M, m zweier solcher unelastischer Körper sich mit der Geschwindigkeit C, c bewegen, so entsteht die Größe der Bewegung aus dem Producte der Masse in die Geschwindigkeit, folglich sind die bewegenden Kräfte in beiden Massen MC, mc. Wenn MC = mc ist, und beide central in entgegengesetzter Richtung an einander stoßen, oder sich begegnen, so ist die Geschwindigkeit nach dem Stoße = o, folglich entsteht das Verhältniß

$$M : m = c : C$$

d. h. bei gleicher Größe der Bewegung zweier harten Körper verhalten sich die Massen umgekehrt wie die Geschwindigkeiten. Ist dagegen CM > cm und die centrale Richtung beider bewegten Körper entgegengesetzt, so wird die Kraft des bewegten Körpers CM und cm vermindert, folglich ist die bewegende Kraft nach dem Stoße MC — mc. Mit dieser Kraft bewegt sich die Summe der beiden Massen nach dem Stoße und zwar mit der Geschwindigkeit x. Es ist demnach

$$(M + m)\, x = MC - mc \text{ hieraus}$$

$$(A) \quad x = \frac{MC - mc}{M + m}$$

Bewegen sich aber die beiden Körper nach einer Richtung, aber mit verschiedenen Geschwindigkeiten, so wird die geschwindere die langsamere einholen und erstere letztere stoßen. Alsdann ist die Größe der Bewegung nach dem Stoße = CM + cm, welche, in beiden Massen vertheilt, eine Geschwindigkeit

$$(B) \quad x = \frac{CM + cm}{M + m}$$

hervorbringt. Die allgemeine Gleichung für unelastische Körper kann demnach folgendergestalt ausgedrückt werden.

Digitized by Google

$$(C) \quad x = \frac{CM \mp cm}{M + m}$$

In dieser Gleichung gilt das Zeichen — für den Fall, wenn beide Körper sich in entgegengesetzten Richtungen bewegen, und das Zeichen + in dem Falle, wenn sie dies nach einerlei Seiten thun.

§. 107. Wenn man die Geschwindigkeit der beiden Körper M und m nach dem Stoße mit einander vergleicht, so ist es einleuchtend, daß, wenn die Richtungen der centralen Bewegung beider Körper entgegengesetzt sind, der erste den Theil $(C - x)$ von seiner Geschwindigkeit verliert, und der andere diesen Theil $(c + x)$ m zu seiner Bewegung erhält. Sind dabei die beiden Körper von gleichen Massen, so werden sie sich in der Richtung desjenigen, welcher die größten Geschwindigkeiten hatte, mit einer solchen bewegen, die halb so groß ist, als der Unterschied der ursprünglichen Geschwindigkeiten; mithin verwandelt sich die obige Gleichung in

$$x = \frac{C - c}{2}$$

Folgen die Körper M, m einander, oder bewegen sie sich nach einerlei Richtung, aber mit verschiedenen Geschwindigkeiten, so wird der sich geschwinder bewegende M den langsamer sich bewegenden m einholen, und ihm sodann bei dem Anstoße einen Theil seiner Geschwindigkeit mittheilen. Dieser Theil, welchen der Körper von seiner Geschwindigkeit verliert, ist $= (C - x)$ M und der stoßende Körper erhält den Theil $(x - c)$ m zu seiner Bewegung.

Nimmt man an, daß m ruhe, so ist $c = o$ also $mc = o$. Es muß also die Geschwindigkeit C, mit welcher der Körper M sich gegen den ruhenden Körper m bewegt, sich nach dem Stoße in beide Massen vertheilen, welche sich alsdann zusammen mit der Geschwindigkeit

$$x = \frac{CM}{M + m}$$

fortbewegen.

Digitized by Google

Vom Stoße elastischer Körper.

§. 108. Ein elastischer Körper ist ein solcher, dessen Theile einem Schlage oder Drucke nachgeben, dann aber sofort in ihre frühere Lage zurückkehren, so daß der Körper wieder dieselbe Gestalt erhält, die er vor dem Drucke hatte. Wenn Körper, auf die ein Schlag oder Druck gewirkt hat, ihre ursprüngliche Gestalt nur zum Theil wieder herstellen, so ist ihre Elasticität unvollkommen; wenn sie aber ihre Gestalt gänzlich wieder herstellen, und zur Herstellung genau so viel Zeit gebrauchen, als auf das Zusammendrücken verwandt worden ist, so ist solche vollkommen.

Wenn ein vollkommen harter auf einen vollkommen elastischen Körper mittelst eines Stoßes einen Eindruck hervorbringt, so wird dieser in dem Maaße, wie er den Eindruck erleidet, gegen jenen mit einer gleichen Kraft vermöge seiner Elasticität zurückwirken. Sind aber beide Körper elastisch, so sind der Eindruck und die Rückwirkung der Elasticität von einem Körper auf den andern wechselseitig.

§. 109. Wenn sich zwei elastische Körper, deren Massen M, m sind, mit den Geschwindigkeiten C, c in centraler Richtung gegen einander bewegen, so werden sie bei dem Anstoße ihre Gestalt verändern, und wechselseitig auf die Veränderung ihrer Gestalt so lange wirken, bis sie einerlei Geschwindigkeit durch die Mittheilung der Bewegung erlangt haben. Bezeichnet x die Geschwindigkeit im Augenblicke der größten Zusammenpressung, so verliert der Körper M durch die Einwirkung auf m einen Theil x seiner Geschwindigkeit, so daß die Kraft seiner Bewegung gegenwärtig nach §. 107 $(C - x)$ M ist. Der Körper m hingegen erhält durch die Einwirkung von M den Theil x der Geschwindigkeit zu seiner Bewegung, weshalb die Kraft seiner Bewegung gegenwärtig $(c + x)$ m beträgt. In dem Augenblicke des größten Zusammendruckes suchten aber beide Körper vermöge ihrer Elasticität ihre Figur wieder herzustellen, wozu aber eben so viel Kraft angewandt werden muß, als dazu ge-

Digitized by Google

hört, diese Figur zu ändern. Der Körper M hat nun bereits die Kraft der Bewegung x M, die er durch die Zusammenpressung der Theile erhielt; indem aber der Körper m zur Herstellung seiner vorigen Form mit der auf die Veränderung seiner Gestalt verwandten Kraft der Bewegung (C — x) M jener gerade entgegengesetzt wirkt, so behält der Körper M nur noch die Bewegung

$$Mx - (C - x)\,M = M\,(2x - C)$$

Wird nun statt x der Werth von (A) §. 106 hierein gesetzt, so erhält man, wenn (2x — C) durch y ausgedrückt wird

$$My = M\left[\frac{(2CM - 2cm) - C}{M + m}\right] \text{ folglich}$$

$$y = C\,\frac{(M - m) - 2mc}{M + m}$$

Der Körper m hat wegen der Zusammendrückung seiner Theile die Kraft der Bewegung mx erhalten; indem aber M seine Form wieder einnimmt, theilt er dem Körper m noch überdies die Kraft der Bewegung (c + x) m mit; daher die Bewegung des Körpers m gegenwärtig

$$mx + (c + x)\,m = m\,(2x + c) \text{ ist.}$$

Wird nun der Werth von (A) §. 106 hierein gesetzt, so erhält man, wenn (2x + c) durch z ausgedrückt wird,

$$mz = m\left[\frac{(2CM - 2cm) + c}{M + m}\right] \text{ folglich}$$

$$z = c\,\frac{(M - m) + 2CM}{M + m}$$

Bewegen sich beide Körper nach einerlei Richtung, so findet man durch ähnliche Betrachtungen ihre Geschwindigkeiten nach Vollendung des Stoßes

$$y = \frac{C\,(M - m) + 2mc}{M + m} \text{ und}$$

$$z = \frac{2MC - c\,(M - m)}{M + m}$$

Für beide Fälle erhält man allgemein die Geschwindig-

Digitized by Google

keiten, mit welchen sich elastische Körper nach der letzten Berührung fortbewegen

$$y = \frac{C(M-m) \mp 2mc}{M+m}$$

$$z = \frac{\pm c(M-m) + 2MC}{M+m}$$

Das obere Zeichen gilt für Körper, die sich gegen einander, das untere für Körper, die sich nach einerlei Richtung bewegen.

§. 110. Aus den obigen Gleichungen lassen sich folgende Sätze ableiten:

Ist einer der beiden Körper z. B. m in Ruhe, so ist seine Geschwindigkeit $c = o$; daher

$$y = C \cdot \frac{M-m}{M+m}$$

$$z = \frac{2MC}{M+m}$$

Sind die Körper gleich, so kommt der stoßende in Ruhe, und der gestoßene Körper bewegt sich mit der Geschwindigkeit fort, welche der andere hatte; denn für $M = m$ ist $y = o$ und $c = C$.

Bewegen sich die Körper nach einerlei Seite, so wird der gestoßene Körper sich nach dem Stoße mit einer größern Geschwindigkeit bewegen.

Sind die Massen der Körper gleich, so verwechseln die Körper ihre Geschwindigkeit während des Stoßes und bewegen sich in ihrer vorigen Richtung; denn für $M = m$ ist $y = c$ und $Z = C$.

Bewegen sich die Körper nach entgegengesetzten Seiten, so ergiebt sich folgender Satz:

Wenn die Massen und Geschwindigkeiten gleich sind, so kehren die Körper mit denselben Geschwindigkeiten zurück, die sie vor dem Stoße hatten, denn für $M = m$, $C = c$ ist $y = C$ und $Z = c$.

§. 111. Wenn ein harter Körper durch auf einander folgende Stöße in eine weiche ruhende Masse eingetrieben

Digitized by Google

werden soll, und diese Masse dem Eindringen gleich stark widersteht und ihm an gleichen Zeiten gleiche Geschwindigkeiten raubt, so wird dieselbe auf den immer tiefer eindringenden Körper als eine gleichförmig verzögernde Kraft wirken. Daher sind die Gesetze der frei fallenden Körper hier negativ anzuwenden, weil die Geschwindigkeit in eben dem Maaße abnimmt, als dieselbe bei dem freien Falle zunahm.

Bezeichnet

F die Festigkeit des Bodens oder die Kraft, welche die Geschwindigkeit des eindringenden Körpers gleichförmig vermindert,
N das Gewicht des eindringenden Körpers,
C die anfängliche Geschwindigkeit,
v die Geschwindigkeit am Ende der Zeit T,
s die Tiefe des eindringenden Körpers am Ende der Zeit T,

alsdann erhält man, dem vorgetragenen Lehrsatze von den Gesetzen der freifallenden Körper zufolge, hier

$$s = CT - gT^2 \cdot \frac{F}{N} \text{ und}$$

$$v = C - 2gT \cdot \frac{F}{N} \text{ also}$$

$$T = \frac{Cv}{2g} \cdot \frac{F}{N}$$

Wird nun dieser letztere Werth in die erste Gleichung gesetzt, so ist

$$s = \frac{C^2 - v^2}{4g} \cdot \frac{N}{F}$$

weil die Endgeschwindigkeit bei immer tieferem Eindringen in die weiche Masse endlich $= o$ wird; daher ist

$$(A) \quad s = \frac{C^2}{4g} \cdot \frac{N}{F}$$

Es verhalten sich demnach die Wirkungen der Stöße, wie die Quadrate der Geschwindigkeiten, oder wie die den letzteren zugehörigen Fallhöhen. Auch kann man folgenden Schluß aus diesem Satze herlei-

Digitized by Google

ten, daß, wenn ein harter Körper auf einen andern unbeweglichen fällt, die Wirkung des Stoßes auf den letzteren sich umgekehrt wie die widerstehende Kraft und gerade wie das Product aus der, der Geschwindigkeit des gestoßenen Körpers zugehörigen Fallhöhe und dessen Masse verhält.

Diese Untersuchungen lassen sich beim Einrammen der Pfähle anwenden. Bezeichnet deshalb

N das Gewicht des Rammklotzes,
H dessen Fallhöhe,
M das Gewicht des einzurammenden Pfahles,
s die Tiefe, in welche der Pfahl bei einem Schlage eindringt,
F den Widerstand des Erdreichs, welcher dem Eindringen des Pfahles entgegen wirkt,

so wirkt im Augenblicke des Stoßes den Gewichten des Rammklotzes und des Pfahles die beständige Kraft $F - N - M$ entgegen. Da nun die Geschwindigkeit des Rammklotzes derjenigen gleich ist, welche er bei einem freien Falle durch eine Höhe $= H = \frac{C^2}{4g}$ erlangt haben würde, so ergiebt sich die Geschwindigkeit, mit welcher der Rammklotz den Pfahl angreift

$$C^2 = 4gH.$$

Wird dieser Werth mit der gehörigen Veränderung der Bezeichnungen in (A) gesetzt, so erhält man die Tiefe des Eindringens

$$s = \frac{4gH}{4g} \cdot \frac{N}{F-N-M} = \frac{NH}{F-N-M}$$

Die Geschwindigkeit, welche der fallende Rammklotz dem Pfahle mittheilt, ist nach (D) §. 106

$$x = \frac{NC}{M+N}$$

Diesen Werth statt C und $(M+N)$ statt N, so wie auch $(F-N-M)$ statt F in (A) gesetzt, giebt die Tiefe,

in welche der Pfahl bei einem Schlage in die Erde eindringt,

$$s = \frac{N^2 . C^2}{4g . (M+N)^2} \cdot \frac{M+N}{F-N-M}$$

und da H die Höhe bezeichnet, von welcher der Rammklotz fallen muß, um die Geschwindigkeit C zu erlangen, so ist

$$H = \frac{C^2}{4g}$$ Daher nach gehöriger Reduction

$$(B) \quad s = \frac{HN^2}{(F-N-M)(M+N)}$$

Bei einerlei Gestalt der Pfähle, bei einerlei Festigkeit des Bodens und bei einerlei Größe der Rammklötze, jedoch bei verschiedenen Fallhöhen, verhalten sich daher die Tiefen, zu welchen die Pfähle eindringen, wie die Fallhöhen des Rammklotzes oder wie die Quadrate der Geschwindigkeiten desselben.

Da aber unter übrigens gleichen Umständen ein fallender Körper von größerem Gewichte auch verhältnißmäßig tiefer eindringt, so läßt sich auch, vermöge der Gleichung (A) schließen, daß, wenn die Pfähle einerlei Gestalt haben und die Festigkeit des Bodens gleich ist, alsdann sich die Tiefen der eindringenden Pfähle wie die Producte der Quadrate der verschiedenen Geschwindigkeiten in die verschiedenen Gewichte der Rammklötze verhalten.

§. 112. Bei den vorherigen Untersuchungen ist angenommen, daß Rammklotz und Pfahl harte Körper sind. Wären sie aber elastische, so würde der Rammklotz nach dem Falle zurückschnellen, und die Geschwindigkeit v, welche der Pfahl erhält, ist alsdann

$$v = \frac{2CN}{M+N}$$

Die in die Erde mit der Geschwindigkeit v eindringende Masse ist alsdann nur = M, daher

$$s = \frac{v^2}{4g} \cdot \frac{M}{F-M}$$ und wenn der für v gefun-

Digitized by Google

dene Werth eingeführt wird, so ist nach gehöriger Reduction

$$s = \frac{4\,HN^2\,M}{(F-M)\,(M+N)^2}$$

Es sind aber weder Rammklotz noch Pfahl vollkommen, sondern nur unvollkommen elastische Körper, daher in diesem Falle der wahre Werth von s innerhalb der beiden für s gefundenen Werthe liegen muß. Da aber die Rammklötze und Pfähle sich mehr den unvollkommen elastischen Körpern nähern, so kann der Ausdruck (B) des vorhergehenden §.

$$s = \frac{HN^2}{(F-N-M)\,.\,(M+N)}$$

beibehalten werden. Es kann der Pfahl außer seinem Gewichte M noch eine Last F — M tragen, ohne tiefer einzudringen, und nur ein größeres Gewicht als F — M kann ein ferneres Eindringen bewirken.

Aus (A) des vorhergehenden §. erhält man

$$F - M = \frac{HN^2}{s\,(M+N)} + N$$

Da man aber einen Pfahl nur so stark belasten darf, als er mit Sicherheit tragen kann, so erhält man, wenn demselben nur der vierte Theil der Last aufgelegt wird, welche er tragen kann, diese Belastung

$$F - M = \frac{HN^2}{s\,(M+N)} + \tfrac{1}{4}N$$

vorausgesetzt, daß der Pfahl stark genug ist, sich nicht unter der Belastung zu biegen.

Es ist demnach die Tiefe, zu welcher ein Pfahl auf den letzten Schlag des Rammklotzes eindringen muß, um eine Last F — M mit Sicherheit zu tragen

$$s = \frac{HN^2}{4\,(F-N-M)\,(M+N)}$$

Vorstehende Berechnung, so wie auch nachstehende Uebersicht, welche dazu dient, aus der Tiefe, zu welcher der

Digitized by Google

Pfahl bei einem bestimmten Rammklotze während der letzten Stöße in die Erde gedrungen ist, die Last zu beurtheilen, welche derselbe mit Sicherheit tragen kann, ist aus dem 3ten Heft der prakt. Anweisung zum Wasserbau von Eytelwein und Gilly entlehnt.

Last, welche der Pfahl tragen kann	Gewicht des Rammklotzes (N)								
	6 Ctr.			8 Ctr.			12 Ctr.		
	Gew. d. Pfahls (M)			Gew. d. Pfahls (M)			Gew. d. Pfahls (M)		
	4 Ct.	8 Ct.	12 Ct.	4 Ct.	8 Ct.	12 Ct.	4 Ct.	8 Ct.	12 Ct.
Ctr.	Wie viel Zoll der Pfahl auf 20 Schläge eindringen muß, um die Last zu tragen (20 S)								
50	24,5	17,5	13,6	38,1	28,5	22,8	53,6	41,7	34,1
100	11,5	8,2	6,3	17,4	13,0	10,4	23,8	18,5	15,2
150	7,5	5,3	4,2	11,2	8,4	6,7	15,3	11,9	9,7
200	5,6	3,9	3,1	8,3	6,2	5,0	11,3	8,7	7,2
250	4,4	3,1	2,4	6,6	4,9	3,9	8,9	6,9	5,7
300	3,7	2,6	2,0	5,5	4,1	3,3	7,4	5,7	4,7
350	3,1	2,2	1,7	4,9	3,5	2,8	6,3	4,9	4,0
400	2,8	1,9	1,5	4,1	3,1	2,4	5,5	4,2	3,5
450	2,4	1,7	1,3	3,6	2,7	2,2	4,9	3,8	3,1
500	2,2	1,6	1,2	3,2	2,4	2,0	4,4	3,4	2,8

Digitized by Google

Last, welche der Pfahl tragen kann	Gewicht des Rammklotzes (N)								
	12 Ctr.			15 Ctr.			18 Ctr.		
	Gew. d. Pfahls (M)			Gew. d. Pfahls (M)			Gew. d. Pfahls (M)		
	6 Ct.	12 Ct.	18 Ct.	6 Ct.	12 Ct.	18 Ct.	6 Ct.	12 Ct.	18 Ct.
Ctr.	Wie viel Zoll der Pfahl auf 20 Schläge eindringen muß, um die Last zu tragen (20 S)								
100	27,2	20,4	16,3	37,8	29,4	24,1	49,4	39,5	32,9
150	17,4	13,0	10,4	23,8	18,5	15,1	30,7	24,6	20,4
200	12,8	9,6	7,6	17,4	13,5	11,1	22,2	17,9	14,8
250	10,1	7,5	6,1	13,7	10,6	8,7	17,4	13,9	11,6
300	8,3	6,3	5,0	11,3	8,7	7,2	14,4	11,5	9,6
350	7,1	5,3	4,2	9,6	7,4	6,1	12,2	9,7	8,1
400	6,2	4,7	3,7	8,3	6,5	5,3	10,6	8,5	7,1
450	5,5	4,1	3,3	7,4	5,9	4,7	9,3	7,5	6,2
500	4,9	3,7	2,9	6,6	5,1	4,2	8,4	6,7	5,6
550	4,4	3,3	2,7	6,0	4,6	3,8	7,6	6,1	5,1
600	4,1	3,1	2,4	5,5	4,2	3,5	6,9	5,6	4,6

Von den Rammmaschinen.

§. 113. Die Maschinen, mit welchen man Pfähle aller Art in den Boden eintreibt, werden **Rammen** genannt, deren es dreierlei Arten giebt:

1) Handrammen (Jungfern, Pfaffenmützen);
2) Zugrammen (Lauframmen);
3) Kunstrammen (Haspelrammen).

Die **Handrammen**, Fig. 100 und 101, bestehen aus einem hölzernen 25 — 100 Pfund schweren Klotze. Dieser oben und unten schmälere, mit zwei eisernen Reifen umgebene Klotz hat rund herum Handhaben, welche aus zähen Haseln oder Birken gemacht werden, oder besser aus ge-

Digitized by Google

krümmten Bügeln, woran die ihn 3 Fuß hoch hebenden Arbeiter fassen. Die Wirkung der Handrammen ist sehr geringe, daher werden sie nur zum Eintreiben solcher Pfähle gebraucht, bei welchen es auf keine sonderliche Festigkeit ankommt. Um dem Zuge der Ramme die senkrechte Richtung auf den Pfahl zu geben, wird sie mittelst einer auf den einzurammenden Pfahl eingeschlagenen eisernen Stange, welche durch ihre Mitte geht, auf und nieder frei bewegt. Dazu ist aber für den Arbeiter ein an dem Pfahle selbst befestigtes Gerüste erforderlich, welches eine solche Einrichtung haben muß, daß es leicht höher und niedriger gestellt werden kann.

§. 114. Kunstrammen sind solche, welche durch Anwendung mechanischer Mittel eine sonst erforderliche große Anzahl Arbeiter entbehrlich machen. Die wesentliche Einrichtung einer solchen Kunstramme besteht darin, daß der durch Hebel oder Räderwerk in die Höhe gewundene Rammbär sich von selbst aushakt, wenn er den höchsten Punkt erreicht hat, und dann herunter fällt. Gilly und Eytelwein beschreiben im ersten Heft der praktischen Anweisung zur Wasserbaukunst mehrere Arten von Kunstrammen, geben aber derjenigen, von welcher bei dem königl. Oberdepartement in Berlin ein Modell vorhanden ist, wegen ihrer Einfachheit den Vorzug. Die Einrichtung dieser Kunstramme besteht in Folgendem: Während der Herumdrehung der Kurbel wickelt sich das Rammtau um eine Welle, die mit einem Stirnrad verbunden ist, welches in ein mit der Kurbel verbundenes Getriebe greift; wenn nun der Rammbär seinen höchsten Punkt erreicht hat, so kann man mittelst des Druckes eines Hebels die beiden Räder von einander schieben, das Rammtau wickelt sich von der Welle ab, und der Rammbär fällt herab. Perronnet bediente sich bei dem Brückenbau zu Neuilly der Kunstramme mit Klinkhaken (s. Perronnet's Werke: die Beschreibung der Entwürfe und der Bauarten der Brücken bei Neuilly u. s. w. aus dem Franz. von Dietlein, 1820). Wiebeking giebt in seiner allgem. theor. und prakt. Wasserbaukunst, 4ter Bd. S. 249, nicht nur

Digitized by Google

eine Beschreibung und Abbildung der Perronnetschen Kunstramme, sondern auch von einer andern von dem Hofmechanicus Dietrich eingerichteten Kunstramme mit Klinkhaken, welche sich oben unter der Rammscheibe aushakt, indem sie an eine Walze stößt. Fig. 102 und 103 stellt den untern Theil der Kunstramme dar. Die Welle ik, worauf das Rammtau aufgewickelt ist, dreht sich frei um die Achse g des gezähnten Rades op, welches 18 Kämme hat, wenn sie mittelst des Lenkers lk von den Speichen 1, 2, 3, 4 des Rades op abgeschoben wird, welches geschehen muß, sobald der Klinkhaken aus dem Oehr b des Rammklotzes oben unter der Rammscheibe sich ausgehakt hat, wo dieser also herunter fällt. Hat nun die Welle ik die Lage in Fig. 102 erhalten, so zieht der etwa 50 bis 100 Pfund schwere Klinkhaken das Rammtau herunter und greift in das Oehr oder in die Oehse des Rammklotzes; dann wird die Welle ik fest auf die Stirne des Kammrades op gehoben, und dieselbe dreht sich mit diesem Rade herum, zieht folglich den Klinkhaken, also auch den Rammklotz, in die Höhe, und so wechselt das Manövre fort.

In Leupold's Theatrum machinarum, im 5ten Bande der Abhandlungen der schwedischen Akademie, in den Mémoires de l'acad. de Paris, année 1707, in Belidor's archit. hydraul. II. Th. 1stes Buch, 8tes Cap., in der Beschreibung von 7 Arten von Rammmaschinen von J. W. Haas, Berlin 1771, im Juliſtück 1797 des Journals für Fabrik, Manufactur, Handlung und Mode, in den Sammlungen nützlicher Aufsätze, die Baukunst betreffend, 1799 3ter Th. u. a. m. findet man mehrere Arten künstlicher Rammen beschrieben und abgebildet.

Die Kunstrammen haben allerdings ökonomische Vortheile, indem man mit wenigen Menschen die Rammarbeit verrichten, auch durch die größere Fallhöhe eine größere Kraft beim Einrammen der Pfähle hervorbringen kann, als mit den Zugrammen. Allein in Rücksicht des Zeitverlustes, welches bei Wasserbauten sehr wichtig ist, und wodurch die

Digitized by Google

Betriebskosten sich wiederum so viel vermehren, haben die Zugrammen den Vorzug vor den Kunstrammen. Auch bersten und spalten die Pfähle leichter durch den stärkeren Fall des Rammbäres an einer Kunstramme, und diese Maschine braucht öfter Reparatur, wodurch Geld- und Zeitverlust entsteht. Es haben daher die sinnreichsten mechanischen Erfindungen die Zugrammen nicht verdrängen können. Nur bei solchen Gelegenheiten, als beim Einrammen von Haltpfählen für Schiffe in Strömen und Seehäfen, die Duc d'Alba genannt werden, für Steinkästen bei Seehäfen u. s. w. werden die Kunstrammen mit Vortheil gebraucht, weil man zu diesen Arbeiten hinlänglich Zeit hat. —

§. 115. Zugrammen sind solche, bei welchen der Rammklotz, gewöhnlich von Menschen, durch Leinen in Bewegung gesetzt wird. Die wesentlichsten Theile einer Zugramme bestehen in dem Schwellwerke, Fig. 104 c u. 105 b, dem Rammbär (Rammklotze, Hoier, Fallklotze), Fig. 107 a und b, welcher mittelst des Rammtaues, das über die Scheibe h, Fig. 104 b, läuft, in die Höhe geschnellt wird; aus dem Läufer ee, Fig. 104 a, an welchem der Rammklotz auf und nieder gleitet, aus der Vorderruthe ff, Fig. 104 a, und Hinterruthe, endlich aus dem Pfahltaue, welches über den sogenannten Trietzkopf x, Fig. 104 a, und unten über eine Welle a, Fig. 104 b, geht, womit der einzurammende Pfahl vor dem Läufer in die Höhe gezogen wird. — Am Pfahltau ist das Kranztau k, Fig. 104 b, mittelst des Knebels befestigt, an welchem wieder die Zugleinen nnn, Fig 104 b, mit ihren Knebeln angebunden sind.

Die Zugrammen haben entweder ein viereckiges oder ein dreieckiges Schwellwerk. Letztere werden Eckrammen oder Winkelrammen genannt, weil sie zu den in Winkeln und Ecken angebrachten Pfählen gebraucht werden. —

Rammen mit viereckigem Fußgestelle haben entweder einen Läufer, wie in Fig. 104 a und b, oder zwei Läufer, wie in Fig. 105 a. Erstere erhalten ein solches Fußge-

Digitized by Google

stelle wie in Fig. 104 c. In die Vorderschwelle aa werden sowohl die Läuferruthe ee in f, als auch die beiden Vorderruthen ff, welche die Läufer halten und Leitersprossen haben, in gg eingezapft. Die beiden Hinterruthen werden ebenfalls in die beiden Mittelschwellen dd und zwar in hh eingesetzt. Die Hinterschwelle bb und die beiden Seitenschwellen cc dienen zur Verbindung des ganzen Schwellwerkes, welches unterhalb Einschnitte gg hat, damit die Maschine durch darunter gestellte Hebel fortgeschoben werden kann. Die Art, auf welche die einzelnen Theile durch eiserne Klammern oder Ueberwürfe verbunden werden, um leicht wieder auseinander genommen zu werden, zeigt die Figur. —

Fig. 105 b stellt das Schwellwerk für eine Ramme mit Doppelläufern dar. Außer der feststehenden Vorderschwelle aa hat sie noch die bewegliche bb, die mittelst eiserner Bügel cc mit dem Schwellwerke verbunden ist. Auf dieser beweglichen Vorderschwelle werden bei ee die Vorderruthen und bei ff die Läufer eingezapft, wogegen die beiden Hinterruthen gh, gh streben.

Da die Hinterruthen mit dem Kopfe des Läufers durch einen Bolzen g, g, Fig. 105 a, verbunden sind, so kann der Läufer, um Pfähle schräg einschlagen zu können, leicht in die erforderliche Schrägung gestellt werden, je nachdem die Hinterruthen am Kopfe weiter vor- oder rückwärts gestellt und durch den Bolzen gehalten werden.

Es wird bemerkt, daß bei schweren Rammklötzen die Rammen mit zwei Läufern den Vorzug vor den Rammen mit einem Läufer haben, weil der Bär sodann senkrecht auf den Pfahl fällt. Auch ist bei zwei Läufern weniger Reibung und mehr Halt. Die Frictionswellen, welche zur Minderung der Reibung zuweilen angebracht werden, sind nicht haltbar.

Die Winkelramme ist in Fig. 106 a und die dazu gehörige Schwelle ist in Fig. 106 b dargestellt. Der Läu-

Digitized by Google

fer wird in das Zapfenloch a, die Vorderruthen werden in die Zapfenlöcher bb, die Hinterruthen in die Zapfenlöcher cc eingesetzt. Man sieht aus der Verbindung dieses Fußgeschwelles, daß es nicht so fest steht als das viereckige Geschwelle. —

§. 116. Der Rammbär (Klotz, Knecht, Fallblock u. s. w.), Fig 107 a und b, wird gewöhnlich aus den Stammenden von Steineichen, sonst auch von Ulmen, Eschen und Ahorn bis 12 und mehrere Centner schwer, verfertigt. Die Stichkramme a ist besser zu befestigen, als ein eiserner Bügel mit Lappen. Um die Reibung des Rammbären längs dem Läufer so viel als möglich zu vermeiden, muß die Stichkramme genau vertical über dem Schwerpunkte des Bären stehen, damit auch das daran geknüpfte angespannte Rammtau mit seiner Richtung durch diesen Schwerpunkt gehe.

Wiebeking macht den Vorschlag, den Rammbär unten etwas breiter als oberhalb zu machen, um den Zug zu erleichtern, und um, nach Eytelwein, den vollen Kopf des Pfahles sicherer zu treffen. Zum Einrammen der Spitzpfähle darf die untere Fläche des Rammbären nicht viel größer seyn als der Kopf des Pfahles, dagegen muß sie zum Einschlagen der Spundpfähle so breit seyn, daß sie zwei Pfähle zugleich trifft. Erhalten die Rammbäre eine parallelepipedische Form, so macht man sie gewöhnlich 20—22 Zoll ins Gevierte dick. Es werden auch zuweilen Oehse für das Rammtau aus dem Vollen von Holz ausgeschnitten, und wenn die untere Seite des Rammklotzes stumpf geschlagen ist, wird die obere Oehse von Holz wagerecht abgeschnitten, und dann auf der untern Seite die eiserne Stichkramme eingeschlagen. Hat die Ramme nur einen Läufer, so erhält der Bär auf der Rückseite 4 Arme. Die Art, auf welche diese Arme in die Zapfenlöcher C. C. C, Fig. 107 b, eingeschlagen werden, ist in A, Fig. 107 a, gezeigt. Den eisernen Armbeschlag zeigt B Fig. 107 a und D Fig. 107 b. Durch einen Einsatz der Arme mittelst Schwal-

Digitized by Google

benschwänze, die verkeilt werden, wie Fig. 108 darstellt, kann der eiserne Armbeschlag entbehrt werden. Im entgegengesetzten Falle erhalten die Arme vorn bei oo, Fig. 107a, einen eisernen ausgeschweißten Ring; m ist das obere, n das untere Winkelband. Diese werden mit einem Fuß an dem Klotz, mit dem andern auf den Arm B, D befestigt. Hierzu kommt noch zur Seite das Trotzband p, welches hier gekröpft ist, weil die Seiten der Arme nicht in der Flucht der Bärseiten liegen; wäre dies der Fall, so muß das Trotzband gerade gemacht werden. m, n und p werden auf dem Arme noch durch zwei Zugbänder befestigt. Der Klotz hat oben und unten eiserne Ringe oder Zugbänder, ee, ee, wovon die untern durch drei Schienen ggg auf den Seiten und vorn gehalten und mehr befestigt werden. Wie diese Schienen, welche unten Kröpfe haben, befestigt werden, zeigt die Figur deutlich. Damit die Arme die Läuferruthen ringsum fassen, wird bei i, Fig. 107a, B eine viereckige Oeffnung durchgestemmt, wodurch ein Bolzen kommt. Man sieht dies beim Rammbären R, Fig. 104 b. Um den Rammbär in der Höhe zu erhalten, wenn etwas an der Maschine zu verändern, oder am Pfahle zu thun ist, werden in die Läufer Löcher gebohrt, in welche man eiserne Vorsteckbolzen steckt, worauf der Rammbär ruht.

Haben die Rammen zwei Läufer, so bilden einige den Rammklotz nach Fig. 109 a und b dergestalt, daß hinten am Rammklotze ein vorstehender Theil bearbeitet ist, welcher zwischen beiden Läufern geht, und hinten durch einen Vorstecker in eine Oehse gehalten wird. — Die eisernen Rammbäre werden auf diese Art gemacht (s. Perronnet a. a. O.). Andere geben auch dem Rammklotze auf jeder Seite vier Arme, in deren Mitte die Läuferruthen stehen. Fig. 110 stellt einen solchen Bär von vorn, und Fig. 111 von der Seite dar.

Um einen Pfahl tiefer einzurammen, als der Rammklotz ihn im tiefsten Stande erreichen kann, wird ein Knecht (Aufsetzer) aus hartem Holze 10—12′ lang, 13—14″ dick,

Digitized by Google

oben und unten mit eisernen Ringen beschlagen, mit einem Bolzen auf den Pfahl gesetzt, welcher die Schläge empfängt und dem Pfahle mittheilt.

§. 117. Die gewöhnlichen Rammscheiben, Fig. 112, werden aus Eichen- oder Weißbuchenholz $2\frac{1}{2}$ bis 3 Zoll stark und 18 Zoll im Durchmesser gemacht. Die eiserne Büchse, durch welche der Bolzen g g Fig. 104[a] gesteckt wird, um welchen die Umdrehung stattfindet, besteht aus zwei Theilen, wie man aus den Querschnitten Fig. 112 sieht, die in der Mitte zusammenstoßen in der Linie n n, und deren äußere Lappen b versenkt und von außen aufgenagelt sind.

Bei dem Bau des Bromberger Kanals ließ der Baudirector Petersen nach Fig. 113 Scheiben aus fünf Stücken zusammensetzen, damit das Rammtau nicht gegen den Span der Scheibe laufen sollte, und dadurch von längerer Dauer sey.

Die Franzosen haben bei ihren Zugrammen dadurch eine wesentliche Verbesserung angebracht, daß sie die Rammscheiben vergrößerten; denn auf den kleinen Rammscheiben werden die Rammtaue schnell abgenutzt und die Kraftanwendung nicht nur wegen des geringern Durchmessers der Rammscheibe, sondern auch wegen der größern Kraft, die erfordert wird, die Steifigkeit der Zugseile über kleine Rollen zu überwinden, verringert. Der Gebrauch vergrößerter Rammscheiben gewährt daher nicht nur wegen der erforderlichen geringern Kraftanwendung, sondern auch wegen längerer Haltbarkeit der Rammtaue wesentliche Vortheile. Regemortes hat den Rammscheiben beim Bau der Brücke zu Moulines drei Fuß im Durchmesser gegeben. Perronnet hat Rammscheiben gebraucht, die 1 Fuß 4 Zoll bis 3 Fuß 4 Zoll im Durchmesser hatten. Eine Abbildung der von Eytelwein im 1sten Hefte seiner Wasserbaukunst dargestellten Einrichtung giebt Fig. 114. a, b, c, d, welche die Zusammensetzung der einzelnen Theile verständlich darstellt. Die Arme haben in der Mitte, wo sie über einander geschnitten sind, Fig. 114[d], eine Dicke von 4 Zoll; damit aber der äußere Theil des Rades, also die

Digitized by Google

Richtung des angespannten Rammtaues, senkrecht auf die Mitte des Rammbären treffe, muß sich der Mittelpunkt des Rades rückwärts außerhalb der Läuferruthe befinden. Die Art, auf welche das Rad an der Läuferruthe angebracht wird, zeigt Fig. 115 a, b, c so verständlich, daß es einer weitern Erörterung nicht bedarf.

Metallene Rammscheiben erhitzen das Tauwerk zu sehr, und dürfen daher nicht gebraucht werden.

§. 118. Die vorzüglichsten Eigenschaften guter Taue sind bereits erwähnt worden, daher nur in Rücksicht der Stärke der an den Rammen vorkommenden Taue Folgendes bemerkt wird.

Das an dem Rammbär befestigte, und oben über die Rammscheibe laufende Rammtau ist gewöhnlich $1\frac{1}{4}$ bis 2 Zoll dick.

Das über die zwei Scheiben im Triezkopfe gehende, und zum Aufziehen der Pfähle dienende Pfahl-, Winde-, Zug-, Aufziehtau, und das Kranztau, woran die Zugleinen befestigt sind, haben gewöhnlich eine Stärke von $1\frac{1}{4}$—$1\frac{1}{2}$ Zoll, dagegen dürfen die Binde- oder Flohrtaue zum An- und Umbinden oder Anflohren der Pfähle, um diese in senkrechter Stellung bei verschiedener Höhe über der Erde zu erhalten, auch sonst zu andern anzubindenden und fortzuziehenden Sachen, so wie auch die Zugleinen, die oben im Kranze befestigt sind und unten einen Knebel haben, nur $1\frac{1}{4}$ und $1\frac{1}{2}$ Zoll stark seyn.

§. 119. Zum Aufziehen des Rammbären werden 10 Mann auf 3 Centner Klotzgewicht gerechnet. Außerdem sind bei jeder Ramme erforderlich ein Schwanzmeister, der den Zug der Ramme leitet, ein Pfahlmeister, der die Stellung der Ramme, das Herbeischaffen, Aufrichten und Befestigen des Pfahls besorgt; ein Nagelmeister, der beim Unterbringen eines Pfahles den Vorstecknagel in den Läufer steckt, das Kranztau mit dem Rammknebel am Rammtau befestigt, und das Einschmieren am Läufer, Bär und

Digitized by Google

an den Scheiben verrichtet, und ein Flohrmeister, der den Pfahl an den Läufer bindet und zwischen beiden ein Holz (den kleinen Knecht) anbringt, damit der Pfahl den erforderlichen Stand erhalte.

§. 120. Zum Rammen müssen die Arbeiter (Zugknechte) so gestellt werden, daß die größt-möglichste Kraftanwendung bewirkt wird. Daher stellt man die Arbeiter in concentrischen Kreisen, deren Mittelpunkt, wo möglich, in die Verticallinie, die den Rand der Rammscheibe tangirt, fällt. Da aber ein jeder Arbeiter 6—7 Quadratschuh Raum nöthig hat, so wird man die Stellung vieler Arbeiter in mehr als einem Kreise bewirken müssen. Die kleinen Arbeiter kommen dann in die innern Kreise und die größern in den äußern Kreis. Der äußere Kreis, welchen die Arbeiter bilden, muß mit dem Kranztau und dem Umfange der Scheibe einen Kegel formiren. Um den schiefen Zug mit den Zugleinen zu vermeiden, wodurch die Wirkung der Kraft geschwächt wird, müssen die Arbeiter in einem so eng geschlossenen Kreise, als nur die Bequemlichkeit gestattet, stehen. Auch muß das Kranztau bei der Anschürzung so nahe als thunlich der Rammscheibe gebracht werden, damit die Zugleinen mit dem Rammtau keinen so großen Winkel machen, wodurch an Kraft verloren geht.

Soll die Arbeit angehen, so ruft der Schwanzmeister auf, und jeder Arbeiter ergreift den für ihn bestimmten Knebel mit beiden Händen, stellt seine Füße etwas auseinander und kehrt sein Gesicht einwärts. Sobald der Schwanzmeister „hoch" ruft, muß der Klotz mit Schnelligkeit und am Ende mit einem solchen Ruck angezogen werden, daß er wenigstens $5\frac{1}{2}'$ hoch und noch höher geschnellt wird. Wenn 30 bis 40 Schläge hinter einander, welches man eine Hitze nennt, gemacht sind, so ruft der Schwanzmeister „hopp" und die Arbeiter ruhen sich etwa 2 Minuten aus, da alsdann der Schwanzmeister wieder hoch ruft, wo das Manövre von vorn angeht. Die Schläge der letzten Hitze nennt man Setzschläge. Nach einigen Schriftstellern muß

der Bär dabei wenigstens 6′ hoch geschnellt werden, und etwa 1½ Secunde auf dem Pfahle ruhen bleiben. Rückt der Pfahl in der letzten Hitze nicht mehr als ¼″ so steht er fest.

Das Einrücken der Pfähle wird durch die größere Fallhöhe des Bären, durch Vermehrung seiner Schwere, durch auf einander schnell folgende Schläge sehr vermehrt und befördert; denn bei einem gleichartigen Boden verhalten sich die Tiefen, zu welchen die Pfähle eindringen, wie die Quadratwurzeln aus der Anzahl Schläge. Auch ist die Ramme am vortheilhaftesten eingerichtet, wenn der Rammklotz so schwer angenommen wird, als es die übrigen Umstände zulassen, und da die Fasern des Pfahls bei jedem Rammschlage zusammengestaucht werden und sich wieder ausdehnen, so wie auch die von dem Pfahl ausgedrängte Erde sich wieder an diesen anzuschließen strebt, so können die Schläge schnell und anhaltend wiederholt werden, weil dadurch die Erschütterung oder Schwingung aller Fibern des Holzes und die Erschütterung der den Rammpfahl umgebenden Erdmasse sehr befördert und unterhalten wird; denn es muß die Elasticität des Erdreiches erst überwunden werden, ehe der Pfahl eindringt, und die Pfahlspitze muß erst von dem Aufschlagen des Rammklotzes erschüttert oder in Schwingung (Oscillation) gebracht werden, ehe der Pfahl tiefer eindringen kann. Sind also die Fibern des Holzes noch in Bewegung, während schon wieder ein zweiter Schlag trifft, so theilt sich die Erschütterung selbst der Pfahlspitze schneller und kräftiger mit. Je elastischer daher das Holz ist, desto leichter werden die Pfähle eindringen.

Aus dem Angeführten läßt sich nun sehr leicht erklären, daß ein in einem preßbaren elastischen Boden zum Feststehen gebrachter Pfahl nach einer Ruhe von einigen Tagen sich noch tiefer eintreiben läßt.

Röder sagt, der Druck, den eine Last ausübt, ist sehr verschieden von der Wirkung des Stoßes. Wenn nun auch die Theorie sich mit Vergleichung beider beschäftigt und sie

Digitized by Google

auf diesen Fall anzuwenden sucht, so werden wir bei der schwierigen Bestimmbarkeit der Elemente eines solchen Calculs doch immer in die Auflösung einiges Mißtrauen setzen; wenn aber ein gelehrter Praktiker die Theorie mit der Praktik verbindet, so dürfe man sich derselben mit vollem Zutrauen bedienen. Die Frage: wie lange muß ein Pfahl eingerammt werden, bis er im Stande ist, eine gegebene Last mit voller Sicherheit zu tragen, ohne jedoch diese Sicherheit unverhältnißmäßig zu überschreiten, ist sehr wichtig, und von Gilly und Eytelwein durch eine Tabelle (S. §. 112) bestimmt.

Digitized by Google

Dritter Abschnitt.

Von den Eigenschaften des Wassers nach den Gesetzen des Gleichgewichts.

Einleitung.

Von den frühesten Zeiten her bis in das letzte halbe Jahrhundert wurde allgemein angenommen und behauptet: daß die tropfbaren Flüssigkeiten, von aller darin enthaltenen Luft befreit, durch keine Künste und keine Kraft in einen geringern Raum gepreßt werden könnten. Diese Meinung ist auf einen nicht hinreichend genauen, von der Akademie del Cimento zu Florenz angestellten Versuch gegründet worden, bei welchem heftig zusammengepreßtes Wasser eher durch die feinen Poren einer goldnen Kugel drang, als daß es dem Drucke nachgegeben hätte. Selbst der Naturforscher Prony spricht noch im Jahre 1790 von der Unpreßbarkeit des Wassers, indem er sagt: „wenn eine Menge Wasser in ein Gefäß von beliebiger Größe und Gestalt eingeschlossen ist, und darin mit so großer Kraft, als man nur will, zusammengedrückt wird, so läßt es sich nie dahin bringen, einen kleinern Raum, als den einzunehmen, den es vorher einnahm" u. s. w. Allein Canton *) fand durch angestellte

*) Man sehe Philosoph. Transact. von 1762 und 1764.

Digitized by Google

Verſuche, daß bei einer Temperatur von 50° (Fahrenheit) und wenn das Queckſilber im Barometer auf ſeiner mittlern Höhe ſtand, das Waſſer ſich um $\frac{1}{21740}$ ausdehnte und bei Vermehrung des Druckes um eine Atmoſphäre um eben ſo viel zuſammengepreßt wurde, oder durch den Druck von zwei Atmoſphären um $\frac{1}{10870}$ ſeines Inhalts. Dieſe Reſultate ſtimmen ſehr nahe mit dem Reſultate, welches Dr. Med. Roget aus den von James Perkins mit ſeinem Inſtrumente, Piezometer genannt, über die Zuſammendrückbarkeit des Waſſers angeſtellten Verſuchen gezogen hat, überein; denn obgleich Perkins ſagt, daß bei dem 100fachen Drucke der Atmoſphäre die Zuſammendrückung ungefähr ein Procent betragen habe, ſo hat doch Roget durch Berechnungen, welche den Angaben von Perkins entſprechen, gefunden, daß bei dem 100fachen Druck der Atmoſphäre die Zuſammendrückung nur $\frac{1}{212,36}$ und alſo nicht ganz $\frac{1}{2}$ Procent (des anfänglichen Raumes des Waſſers) betrug *). Herr Profeſſor Pfaff in Kiel hat einen ſehr einfachen Apparat erfunden, mittelſt deſſen die Zuſammendrückbarkeit der tropfbaren Flüſſigkeiten durch die kleinſten Druckhöhen anſchaulich gemacht wird. Die damit bisher angeſtellten Verſuche ſind aber noch nicht genug ausgedehnt und abgeändert, um darauf bereits Geſetze für die Zuſammendrückung des Waſſers gründen zu können. Die Beſchreibung und Abbildung des Inſtruments, welches vom Mechanicus Cramer nach der von Pfaff angegebenen Idee auf das vollkommenſte ausgeführt worden, findet man in Gilberts Annalen B. 72 St. 2. J. 1822. S. 161.

Wenn es aber auch entſchieden iſt, daß das Waſſer ſich zuſammendrücken läßt, ſo iſt doch die Zuſammenpreſſung im Verhältniſſe zu ſeiner Maſſe ſehr klein, und kann daher in den meiſten Fällen in der Ausübung außer Acht

*) M. ſ. Dinglers polytechn. Journ. Bd. V. auch Bd. I. Hft. II. S. 182 und vergleiche damit Gilbert's Annalen der Phyſik B. 72. St. 2. J. 1822. S. 173.

gelassen werden. — Aus diesem Grunde wird das Wasser in den folgenden Untersuchungen als ein unpreßbarer Körper betrachtet.

Von dem senkrechten Drucke des Wassers auf den horizontalen Boden.

§. 121. Der Druck des Wassers ist eine Kraft, welche von der Schwere der obern Wassertheilchen herrührt. Diese Schwere wirkt auf jede tropfbare Flüssigkeit, nicht blos in ihrer eigenthümlichen Richtung, wie bei festen Körpern, sondern auch nach allen Seiten gleichförmig durch die ganze Flüssigkeit fort.

Wenn demnach das Wasser in Ruhe ist, welches der Fall ist, wenn seine Oberfläche an jeder Stelle auf die Richtung der Schwere senkrecht ist, so wird jedes Theilchen nach allen Richtungen immer gleich stark gedrückt, aber auch nach zwei gerade entgegengesetzten Richtungen. Folglich muß die Oberfläche des Wassers, wenn es sich im Gleichgewichte befindet, wagerecht seyn, die Gestalt des Behälters, in welchem das Wasser sich befindet, mag seyn, welche sie wolle. Es erleidet daher der ebene wagerechte Boden eines mit Wasser angefüllten Behälters, von welcher Gestalt er auch sey, einen senkrechten Druck, welcher dem Gewichte einer Wassersäule gleich ist, die den Boden zur Grundfläche und die Höhe des Wassers im Behälter zur Höhe hat. Nach diesem Lehrsatze kann der Druck auf den Boden eines Wasserbehälters nicht nur weniger, sondern auch viel mehr betragen, als das Gewicht des in dem Behälter enthaltenen Wassers.

Hat der Wasserbehälter die Gestalt Fig. 116, so ist die Schwere des prismatischen Wasserkörpers EFCD das Gewicht, welches den Boden drückt.

Hat der Wasserbehälter die Gestalt Fig. 117, dessen oberer Theil ABG viel enger ist als der untere BCDEFG, und ist dieser mit Wasser angefüllt, so drückt selbige den

Digitized by Google

wagerechten Boden DE ſo ſtark nieder, als er niedergedrückt werden würde, wenn man die Wände DC und EF bis an die wagerecht gezogene Linie ab verlängerte, und dann das regelmäßige Gefäß Da, Eb voll Waſſer wäre; der Druck des Waſſers gegen den Boden iſt in beiden Fällen dem Gewichte einer Waſſerſäule gleich deren Inhalt man erfährt, wenn man die Quadratfläche des Bodens DE mit der ſenkrechten Höhe Am multiplicirt. Dieſer Satz kann auf folgende Art erläutert werden.

Ein mit Waſſer angefülltes Gefäß ABMNDCA Fig. 118 von willkürlicher Geſtalt, aber mit einer wagerechten Grundfläche MN, ſey auf eine beliebige Weiſe gegen den Horizont geneigt. Es ſey ferner Rv die nämliche wagerechte Ebene, woran ſich die Oberfläche des im Gefäße eingeſchloſſenen Waſſers befindet, und SN ſey dieſes Waſſers lothrechte Höhe oder eine zwiſchen der Ebene Rv und dem Boden MN lothrecht gezogene gerade Linie; alsdann iſt der ganze Druck, den das Waſſer ABMNDCA gegen den Boden MN ausübt, dem Gewichte desjenigen Waſſers gleich, deſſen Inhalt man findet, wenn man den ganzen Boden MN mit der lothrechten Höhe SN multiplicirt. Es iſt die gebogene Röhre Mevt N mit dem andern Gefäße ſo zuſammengefügt, als wenn ſie ein einziges Gefäß ausmachte; der gemeinſchaftliche Boden MN aber ſey ohne Gewicht und zugleich ſehr beweglich. Wird nun dieſes, aus zwei Gefäßen zuſammengeſetzte Gefäß mit Waſſer angefüllt, ſo daß die Oberfläche AC und tv des in beiden Schenkeln enthaltenen Waſſers in einer und derſelben wagerechten Ebene Rv ſich befindet, ſo hält das Waſſer in dem einen Schenkel dem Waſſer im andern das Gleichgewicht und der Boden MN iſt daher ruhig.

§. 122. Von den beiden vorhergehenden Grundſätzen, daß das Waſſer nach allen Richtungen und daß es im Verhältniß ſeiner lothrechten Höhe drückt, hängt folgender, unter dem Namen des hydroſtatiſchen Paradoxes bekannte Satz ab: daß ein kleines Gewicht Waſ-

Digitized by Google

ſer einem ſehr großen das Gleichgewicht halten kann. Zur Erläuterung dieſes Satzes bemerken wir, daß, wenn in zwei communicirende Röhren IEL, NMSRK Fig. 119, von verſchiedener Weite, Waſſer gegoſſen wird, die ſchmale Waſſerſäule NS mit der größern IR das Gleichgewicht hält; denn das Waſſer kann nur dann ruhig ſtehen bleiben, wenn die Waſſerſpiegel in einer horizontalen Ebene liegen, weil alsdann die in gleich hohen horizontalen Waſſerſchichten neben einander liegenden Waſſertheilchen gleichen Druck empfinden und mittheilen.

Eine bekannte Erfindung zur Erläuterung jenes Satzes iſt auch der von Wolff angegebene anatomiſche Heber oder der hydroſtatiſche Hebel, welcher entſteht, wenn man über die Röhre bei AB eine Blaſe ſpannt. Gießt man nun in die Röhre bei MN Waſſer, ſo wird nach und nach die Blaſe zuletzt mit einer Kraft gepreßt, die ſich wie die Höhe MS verhält. Folglich iſt der in FR aufwärts wirkende Druck dem Gewichte einer Waſſerſäule gleich, deren Grundfläche FR und deren Höhe MS iſt. — Bei dieſer Maſchine findet, wie bei dem ſtatiſchen Hebel, das Geſetz ſtatt, daß ſich die Wege bei erfolgter Bewegung umgekehrt, wie die Kräfte in dem Zuſtande des Gleichgewichts verhalten; denn es ſinke die Waſſerſäule NH herab, und trete in den Raum ABFR, ſo verhält ſich die Höhe AF zur Höhe MS umgekehrt, wie die Querſchnitte von SH zu FR, oder wie die zu dieſen Querſchnitten gehörigen Waſſerſäulen von gleichen Höhen.

Aus den Eigenſchaften des hydroſtatiſchen Hebels erklären ſich die Erſcheinungen von der oft ungeheuern Gewalt, welche das Waſſer von Strömen und Seen gegen daran befindliche feſte Dämme oder Gebäude ausübt, wenn es einmal den Grund derſelben unterwühlt hat. Die Gewalt des Waſſers iſt deſto größer, je tiefer der Durchbruch liegt, und je größer die Grundfläche des feſten Gebäudes iſt.

Digitized by Google

Wenn z. B. das obere Waſſer durch die Spundwände unter dem Boden einer Schleuſenkammer, deſſen Flächeninhalt F Quadratfuß betrage, gedrungen iſt, der Höhenunterſchied des obern Waſſerſpiegels bis zu dem in der Schleuſenkammer ſey $= h = 10'$, die Grundpfähle, worauf der Schleuſenboden befeſtigt $= b = 4'$ von einander entfernt ſind, ſo trägt jeder Grundpfahl b^2 Quadratfuß der Fläche F und da ein Kubikfuß Waſſer $= \gamma = 65$ ℔ rheinl. wiegt, ſo iſt der Druck von unten $= hb^2\,\gamma = 10, 4^2. 65 = 10400$ ℔. Aus dieſer Urſache muß man daher, nach Beſchaffenheit des Grundes und Bodens, mittelſt einer hinreichenden Anzahl von ſtarken Spundwänden das Grundwerk und die ganze Schleuſe gegen das Unterſpülen und Durchdringen des Quell- und Druckwaſſers zu ſchützen ſuchen.

Von dem Drucke des Waſſers auf die Seitenumgebungen.

§. 123. So wie jeder Punkt des Bodens von einem Gefäße den ſenkrechten Druck aller vertical darüber liegenden Waſſertheilchen erleidet, ſo empfindet auch jedes Element der Seitenwand des Gefäßes einen Druck, der dem Gewichte einer Waſſerſäule gleich iſt, welche die Größe des Elements zur Grundfläche und ſeine ſenkrechte Tiefe unter dem Waſſerſpiegel zur Höhe hat; denn der Druck des Waſſers wirkt nach allen Richtungen. Das Waſſer drückt demnach auf ein Element g, Fig. 120, wie $g^2. cg$, und ſo auf die ganze Seitenfläche, wie $\frac{1}{2} cd^2. cd$. Den Druck auf den Boden kann man daher durch das Quadrat cdef und den auf die Seitenfläche cd durch das Dreieck Cde bildlich darſtellen; der Druck auf das Stück der Seitenfläche cg würde durch das Dreieck cgh ausgedrückt werden. Da nun ähnliche Figuren wie die Quadrate ihrer gleichnamigen Seite ſich verhalten, ſo iſt

$$cgh : cde = cg^2 : cd^2$$

Digitized by Google

d. h. der Seitendruck bei verschiedenen Tiefen verhält sich, wie die Quadrate der Tiefen des Wassers.

Wäre nun $cg = \frac{1}{2}cd$, so ist der Seitendruck $cgh = \frac{1}{4}cde$. Dieser Satz ist bei der Anlegung von Dämmen u. dgl. von großer Wichtigkeit; denn wenn man die Stärke eines Dammes für eine gewisse Wasserhöhe kennt, so muß der Damm für die doppelte dreifache Wasserhöhe viermal neunmal so stark werden.

Stellt man sich den auf eine senkrechte Wand abcd Fig. 121 drückenden Wasserkörper in schmale Elementarstreifen efki, npqo u. s. w. zerlegt vor, so bildet jeder derselben einen Rectangel, in dessen Mitte sein Schwerpunkt m oder m′ u. s. w. befindlich, und der Druck seiner Elementartheile vereinigt ist.

Betrachtet man ferner die, in dem Wasserspiegel liegende Linie ad als eine Momentenachse, und um, vm u. s. w. als die senkrechten Entfernungen der Schwerpunkte von ihr, so ist nach den Eigenschaften der Schwere die Summe der Momente aller einzelnen Streifen dem Momente der sämmtlichen Elementartheilchen in dem Schwerpunkte der Figur abcd vereinigt, gleich. Daher wird der ganze Druck durch das Product aus der gedrückten Fläche, dem Abstande ihres Schwerpunktes von der Oberfläche und dem eigenthümlichen Gewichte des Wassers bestimmt.

Mittelst dieses Lehrsatzes kann die Kraft, mit welcher das Wasser gegen jede Wand drückt, gefunden werden. Hat das Schutzbret eines Kanals oder eines stillstehenden Wassers die Gestalt eines Trapezii ABCD, Fig. 122, und ist das Wasser bis AB angestauet, so ist, wenn $AB = a$, $DC = b$, $FE = h$ gesetzt wird, der Flächeninhalt des gedrückten Trapezii $ABCD = \frac{(a + b)\,h}{2}$ und die Entfernung FM′ des Schwerpunktes von der längern Parallele

$= h \frac{(a+2b)}{3(a+b)}$ Daher ist der Wasserdruck auf das Schutzbret, wenn γ das eigenthümliche Gewicht des Wassers bezeichnet.

$\frac{(a+b)}{2} h \times h \frac{(a+2b)}{3(a+b)} \cdot \gamma = \frac{1}{6} h^2 (a+2b) \gamma$

§. 124. Aus der vorstehenden Lehre vom Drucke des Wassers auf die Seitenwände kann der Druck auf dieselben von mehreren über einander vertical stehenden Röhren, um Wasser in die Höhe zu heben, abgeleitet werden. Die Röhren, deren man sich dazu bedient, sind hohle senkrechte Cylinder von Holz oder Metall, welche im ersten Falle in einander gesteckt, im andern an einander geschraubt werden. Erhalten alle Röhren einerlei innern Durchmesser, so kann man, um überflüssige Kosten zu ersparen, die Stärke der Röhren nach dem obern Ende zu nach und nach abnehmen lassen, und zwar beinahe im Verhältniß der Höhe des Wassers; denn zwei gegenüber liegende Punkte einer vertical stehenden, mit Wasser gefüllten Röhre leiden einen Druck, der dem Gewichte des darüber stehenden Wassers gleich ist, und die Größe dieses Druckes steht mit der Wasserhöhe und dem innern Durchmesser der Röhre im directen Verhältnisse. Derselbe Grundsatz findet seine Anwendung auf die Erbauung von Schleusenthoren, Dämmen u. s. w.

Wenn der innere Durchmesser einer mit Wasser gefüllten Röhre und die Höhe des Wasserspiegels über eine beliebige Stelle der letztern gegeben sind, und die geringste Stärke der Wände an derselben Stelle, bei der die Röhre den hydrostatischen Druck noch mit Sicherheit aushalten kann, gefunden werden soll, so ist dies allerdings durch Berechnung möglich, allein es wird sicherer seyn, wenn man mittelst Versuche die möglichst kleinsten Dimensionen einer andern Röhre von gleicher Materie für den Widerstand gegen den Wasserdruck bestimmt. Wenn daher unter dieser Voraussetzung die verschiedene Stärke zweier Röhren $= S$ und s, die gerade nothwendig sind, um dem Drucke des

Wassers zu widerstehen, ferner die Wasserhöhen = H und h und die innern Durchmesser = D und d gesetzt werden, so verhält sich demnach bei gleichen Durchmessern D = d

S : s = H : h und bei gleichen Höhen H = h

S : s = D : d folglich bei verschiedenen Durchmessern und Höhen

S : s = D . H : d . H, hieraus ergiebt sich

$$s = \frac{s}{dh} \cdot D.H.$$

Sind nun durch Versuche die Werthe von d, h und s bekannt, so kann die erforderliche Stärke für eine andere beliebige Röhre von gleicher Materie durch Rechnung bestimmt werden.

Langsdorf giebt in seinem Lehrbuche der Hydraulik, Altenburg, 1794, S. 131 einige Erfahrungen zur Bestimmung des Werthes von $\frac{s}{dh}$, welche hier folgen.

1) Nach Parent und Belidor liefert eine 12 Zoll weite bleierne Röhre bei einer Wasserhöhe von 60 Fuß hinreichenden Widerstand, wenn ihre Wand 9 Linien dick ist. Dies giebt für bleierne Röhren s = 9, h = 60, d = 12, folglich ist der Werth von $\frac{s}{dh} = 0{,}0125$.

2) Eine Röhre aus sprödem Metall leistete unter denselben Umständen hinlänglichen Widerstand, wenn ihre Dicke wenigstens 3 Linien betrug. Mithin ist für dieses Metall der Werth von $\frac{s}{dh} = 0{,}0041$.

3) Eine Röhre aus gegossenem, nicht sehr gutem Eisen hält bei einer Weite von 10 Zoll einen Druck von 240 Fuß Wasserhöhe aus, wenn ihre Dicke 12 Linien ist. Daher hat man für gegossenes Eisen $\frac{s}{dh} = 0{,}0044$.

4) Eine 14 Zoll weite, 2½ Fuß lange buchene Röhre, welche mit 4 eisernen 3 Zoll breiten, beinahe ¼ Zoll dicken Reifen beschlagen ist, und mit diesem Beschlag 3 Wochen

Digitized by Google

ins Waſſer geworfen wird, um hinlänglich zu verquellen, hält den Druck einer 240 Fuß hohen Waſſerſäule aus, wenn ihre Wand nirgends unter 30 Linien dick iſt. Alſo iſt der Werth für ſolche beſchlagene buchene Röhren von $\frac{s}{dh} = 0{,}008$.

5) Eine 6 Zoll weite und 10 Fuß lange fichtene Röhre, welche an beiden Enden mit eiſernen Ringen beſchlagen war, hielt einen Druck von 40 Fuß aus; folglich iſt der Werth für fichtene Röhren von $\frac{s}{dh} = 0{,}25$.

Um alſo die Stärke einer Röhre von gegoſſenem Eiſen zu beſtimmen, welche bei einer Weite von 8 Zoll eine Waſſerhöhe von 90 Fuß erhalten ſoll, iſt $s = \frac{s}{dh}$. D.H $= 0{,}0044\ 8\ .\ 90 = 3{,}168$ Linien. Da aber die Materien nicht immer von gleicher Güte, ſowie auch nicht überall von gleicher Stärke ſind, und die Körper durch die Einwirkung der Luft, der Feuchtigkeit u. dgl. m. leiden, ſo muß man der Sicherheit halber nach dem Vorſchlage von Langsdorf bei bleiernen Röhren der gefundenen Stärke $1'''$, bei eiſernen $2'''$, und bei hölzernen $6'''$ hinzuſetzen.

§. 125. Aus den vorgetragenen Lehrſätzen vom Drucke des Waſſers gegen eine lothrecht ſtehende Wand, daß man den geſammten Waſſerdruck auf cd Fig. 120 durch das Gewicht des Druckes cde ausdrücken, und ſich dieſes Gewicht wieder in dem Schwerpunkte des Dreiecks, welches $\frac{2}{3}$ der Höhe cd von der Spitze, und $\frac{1}{3}$ von der Grundlinie de entfernt liegt, vereinigt denken kann, läßt ſich die Stärke einer Mauer beſtimmen, um dem Seitendrucke des Waſſers zu widerſtehen.

Es ſey cdma Fig. 120 der ſenkrechte Durchſchnitt einer am Waſſer ſtehenden Mauer, deren ſpecifiſche Schwere $= s$ iſt. Wird nun das ſpecifiſche Gewicht des Waſſers $=$ 1 geſetzt, und kann man die Höhe der Mauer als eine bekannte

Größe anſehen, ſo findet man die Dicke der Mauer md auf folgende Weiſe.

Der ſenkrechte Druck des Waſſers gegen cd wird durch das Dreieck $cde = \frac{cd^2}{2}$ vorgeſtellt. Wird nun dieſer Ausdruck mit $ic = \frac{2}{3} cd$ multiplicirt, ſo iſt

$\frac{2}{3} cd \times \frac{cd^2}{2} = \frac{1}{3} cd^3$ der ganze Seitendruck. Dieſer Druck ſtrebt nun in der Richtung ki an dem Punkte m die Mauer umzuwerfen, und wirkt mit dem Hebelarm $id = \frac{1}{3} cd$. Die Mauer widerſteht durch ihr Gewicht mit dem Hebelarm $\frac{1}{2} md$. s ſey die ſpecifiſche Schwere der Mauer; dieſe mit md.cd multiplicirt, giebt das abſolute Gewicht der Mauer $s = 1$, ſo wäre für den Zuſtand des Gleichgewichts

$$\frac{cd^2}{2} \times \frac{1}{3} cd = md.cd.s.\frac{md}{2} \text{ oder}$$

$$\frac{1}{3} cd^2 = md^2.s, \text{ folglich}$$

$$md = \sqrt{\frac{cd^2}{3s}} = cd\sqrt{\frac{1}{3s}}$$

Nach Gauthey Th. 1. S. 378 kann man ſich bei der Ausübung auf dieſe Formel verlaſſen. Da aber der Widerſtand der Mauer nicht blos mit dem Drucke des Waſſers im Gleichgewichte ſeyn darf, ſondern ihn um ein Beträchtliches übertreffen muß, ſo ſetzt man md nach Beſchaffenheit der Umſtände von $\frac{1}{4}$ bis auf $\frac{1}{3}$ der durch die Rechnung gefundenen Dicke zu. Da aber acmd in techniſcher Hinſicht Böſchung haben muß, ſo fragt ſich, wie ſtark die Mauer an jeder Stelle ihrer Höhe ſeyn muß, damit nicht das Verſchieben der Steinſchichten in wagerechter Richtung zu beſorgen iſt. Erwägt man dabei, daß der Seitendruck bei verſchiedenen Tiefen ſich verhält, wie die Quadrate der Tiefen des Waſſers, ſo muß ſich die Stärke der Mauer an den verſchiedenen Stellen g,d wie die Quadrate der Höhen verhalten. Dieſes findet ſtatt, wenn man der Mauer die Geſtalt eines dreieckigen Prisma giebt, da ſich ihre Quer-

Digitized by Google

ſchnitte in verſchiedenen Höhen, wie die Quadrate der Höhen verhalten.

Es ſey der ſenkrechte Durchſchnitt der Mauer bad ein gleichſchenkeliges Dreieck, deſſen Grundlinie bd = 2dm, ſo iſt der Inhalt des Dreiecks dem Inhalte des Parallelogrammes amdc gleich. Der Schwerpunkt des Dreiecks fällt in die Linie am, der Drehungspunkt bei Ueberwältigung des Widerſtandes in k, folglich iſt das Moment des Widerſtandes

$$cd . bm . md . s = cd . md^2 . s$$

Sucht man bei dieſer dreieckigen Geſtalt der Mauer die Größe der Grundlinie bd, um einen cdma gleichen Widerſtand zu leiſten, ſo nenne man die geſuchte Grundlinie x und ſage

$$2 : 1 = cd . md^2 . S : cd . x^2 = md^2 . s : x^3$$

und $x = \sqrt{\frac{md^2 s}{2}} = md \sqrt{\frac{s}{1{,}414}}$

Iſt $dc = 10 . s = 2{,}6$ ſo iſt

$md = 3{,}58$ und $x = 4{,}08$.

Multiplicirt man nun die Grundlinie mit der halben Höhe = 5, ſo iſt der Durchſchnitt 20,4. Multiplicirt man md mit cd, ſo erhält man das Profil der geraden Mauer = 35,8; folglich erſpart man beinahe $\frac{1}{4}$ an Mauerwerk, wenn man dem ſenkrechten Durchſchnitte der Mauer die Geſtalt eines gleichſchenkeligen Dreiecks giebt. Da man aber in der Ausübung nicht eine ſolche Mauer ſpitz auslaufen läßt, weil die ſcharfe Kante dem Einfluſſe der Witterung zu ſehr ausgeſetzt ſeyn würde, und der Widerſtand, wie oben bemerkt, um etwas vergrößert werden muß, damit man vollkommen ſicher ſeyn kann, ſo verfährt man am zweckmäßigſten, wenn man dieſe Verſtärkung oben, wo keine Spitze bleiben kann, anbringt. Die Böſchung kann zwar nach innen liegen, es iſt aber beſſer, ſie nach außen anzubringen, weil ſo der Schwerpunkt mehr zurückgelegt und das Moment des Widerſtandes vermehrt wird.

Hiernach kann man nach Röder *) sich folgender Dimensionen bei einer Futtermauer gegen Wasser bedienen.

Bei	1	Mauerhöhe	0,35	obere	Dicke	0,45	untere Dicke
"	2	"	0,70	"	"	0,90	" "
"	3	"	1,05	"	"	1,35	" "
"	4	"	1,40	"	"	1,80	" "
"	5	"	1,65	"	"	2,25	" "
"	6	"	2,10	"	"	2,70	" "
"	7	"	2,45	"	"	3,15	" "
"	8	"	2,80	"	"	3,50	" "
"	9	"	3,15	"	"	4,05	" "
"	10	"	3,50	"	"	4,50	" "

§. 126. Um die Breite eines Erddammes zu bestimmen, wenn derselbe dem Seitendrucke des Wassers widerstehen soll, wird auf die von Fischer in seinen Anfangsgründen der Hydrostatik und Hydraulik (Leipzig 1824 S. 16) aufgeführte Berechnung verwiesen.

Die Dämme werden gewöhnlich als prismatische Körper aufgeführt, deren senkrechtes Profil die Gestalt eines Trapezes hat. Die obere Fläche LBS Fig. 123 heißt die Krone oder die Kappe; die nach dem Wasser zugekehrte Seitenfläche BSHC, die Brustseite; KC und OE die Anlage der Böschungen; und der Theil des Dammes, welcher über dem Wasserspiegel hervorragt, der Wellenschlag.

Wenn die Höhe BK des Dammes $= h$ gesetzt wird, so macht man gewöhnlich $KC = h$; $LB = \frac{1}{3}h$ und $OE = \frac{1}{4}h$, jedoch wird bei lockerem und schlammigem Erdreiche diese Anlage auch noch vergrößert.

Um die geringste Breite des Dammes für den Andrang des Wassers zu finden, sey das Profil desselben ein Dreieck EBC, Fig. 124, dessen Höhe BK der halben Grundlinie EC gleich ist. Ferner bezeichne

*) Praktische Darstellung der Brückenbaukunde, Darmstadt 1821, 1ster Theil. 1. Abschn. Cap. 3. S. 69.

Digitized by Google

h′ die gegebene Waſſerhöhe.
h = BK die Höhe des Dammes
α = CE die untere Breite deſſelben
L = BS deſſen Länge
PG = dem Normaldrucke des Waſſers auf die Bruſtſeite BCHS

Außerdem wird angenommen, daß die Linien PG, GI und PI in der verlängerten Ebene des Profils BEC liegen; ferner bezeichne a das Gewicht eines Kubikfußes geſtampfter Erde und γ das Gewicht eines Kubikfußes Teichwaſſer.

§. 127. Der Normaldruck, er ſey = D, wird, wie oben erwieſen worden, gefunden, wenn man die gedrückte Fläche mit dem Abſtande ihres Schwerpunktes vom Waſſerſpiegel und mit dem Gewichte eines Kubikfußes Waſſer multiplicirt.

Um erſtlich die gedrückte Fläche zu berechnen, ſo verhält ſich

$$BC : B'C = h : h' \text{ folglich}$$

$$B'C = \frac{h' \cdot BC}{h}$$

Dieſelbe iſt demnach $= \frac{h' BC}{h} \times BS$ und weil ihr Schwerpunkt vom Waſſerſpiegel um $\frac{1}{2} h'$ entfernt iſt

$$1)\ D = \tfrac{1}{2} h' \cdot \frac{h' \cdot BC}{h} \times BS \cdot \gamma = \tfrac{1}{2} \frac{h^2}{h} \cdot BC \cdot l \cdot \gamma$$

Man zerlegt ferner den gefundenen Normaldruck D in die horizontale und verticale Seitenkraft GI = M und PI = N, ſo verhält ſich

D : M = PG : GI und weil △ CBK ∽ △ PGI
BC : BK = PG : GI alſo

D : M = BC : BK oder
D : M = BC : h daher

$M = \frac{h \cdot D}{BC}$ hierin den Werth D aus (1) geſetzt

Digitized by Google

$$2)\ M = \frac{h}{BC} \times \tfrac{1}{2} \frac{h'^2}{h} \cdot BC \cdot l \cdot \gamma = \tfrac{1}{2} h'^2 \cdot l \cdot \gamma$$

Ferner verhält sich

$D : N = PG : PI$ und

$BC : KC = PG : PI$ folglich

$D : N = BC : KC$ oder

$D : N = BC : \tfrac{1}{2} \alpha$ und

$N = \tfrac{1}{2} \frac{\alpha \cdot D}{BC}$ hierin den Werth von D selbst

$$N = \frac{\alpha}{2.BC} \times \tfrac{1}{2} \frac{h'^2}{h} \cdot BC \cdot l \cdot \gamma = \frac{\alpha \cdot h'^2 \cdot l \cdot \gamma}{4h}$$

Der körperliche Inhalt des Dammes ist

$$\left(\frac{EC + BK}{2}\right) \times BS = \frac{\alpha \cdot h \cdot l}{2}$$

Da nun, wie gezeigt werden soll, ein im Wasser befindlicher Körper so viel von seinem Gewichte verliert, als das Gewicht des aus seiner Stelle gedrückten Wassers beträgt, so wiegt ein Kubikfuß gestampfter Dammerde im Wasser nicht a, sondern $(a - \gamma)$.

Das Gewicht des ganzen Dammes ist demnach $\frac{\alpha . h . l}{2}$ $(a - \gamma)$ anzunehmen. Hierzu kommt noch der aus dem Normaldrucke D sich ergebende verticale Druck $N = \frac{\alpha . h'^2 . l . \gamma}{4h}$. Weil aber das mit dem horizontalen Drucke M auf den Damm wirkende Wasser nur die Reibung von beiden zu überwältigen hat, und letztere beim Erdreich ungefähr $\frac{1}{3}$ der Last zu setzen ist, so erhält man für das Gleichgewicht der Reibung und der horizontal wirkenden Kraft

$$M\,\tfrac{1}{3} \left[\frac{\alpha . h . l (a - \gamma)}{2} + \frac{\alpha . h'^2 . l . \gamma}{4h}\right] = \tfrac{1}{2} h'^2 . l . \gamma .$$

$$\times 12\,h\,2 \quad \alpha h^2 l (a - \gamma) + \alpha . h'^2 . l . \gamma = 6h . h'^2 . l . \gamma \text{ und}$$

$$\alpha = \frac{6h . h'^2 l \gamma}{2h^2 l (a - \gamma) + h'^2 l . \gamma} = \frac{6h . h'^2 \gamma}{2h^2 (a - \gamma) + h'^2 . \gamma}$$

Digitized by Google

Anmerk. Wird nicht auf den Wellenſchlag geſehen, und deshalb $h' = h$ geſetzt, ſo verwandelt ſich vorſtehende Formel in

$$a = \frac{6\,h\,\gamma}{(2a - \gamma)}$$

Es ſey die Waſſerhöhe, Fig. 123, $= h' = 20$ Fuß, die Höhe des Dammes $= h = 22$ Fuß, die Anlage der Bruſtſeite KC, der Höhe des Dammes $= h$, das Gewicht eines Kubikfußes Dammerde $= a = 80$ ℔; ferner das Gewicht eines Kubikfußes Teichwaſſer $= \gamma = 65$ ℔. Welche Breite wird nach §. 124 die Kappe oder Krone erhalten? Welche Länge bleibt für die Anlage OE übrig, und wie viel beträgt der körperliche Inhalt des Dammes, wenn deſſen Länge 240 Fuß iſt?

Der Werth von OC iſt nach der ſo eben gefundenen Gleichung

$$a = \frac{6 \,.\, 22 \,.\, 20^2 \,.\, 65}{2 \,.\, 22^2 \,.\, 30 + 20^2 \,.\, 65} = 60{,}5 \text{ Fuß, daher}$$

$$KC = h = 22 \text{ Fuß}$$

$$LB = \tfrac{1}{3}\, h = 7\tfrac{1}{3} \text{ Fuß}$$

$$OE = OC - (EK + KC) = OC - (LB + KC)$$

$$= 60{,}5 - (7\tfrac{1}{3} + 22) = 31\tfrac{1}{6} \text{ Fuß}$$

und der körperliche Inhalt des Dammes

$$= \frac{OC + LB}{2}\, BK \times BS = \left(\frac{60{,}5 + 7\frac{1}{3}}{2}\right) \times$$

$$22 \times 240 = 179520 \text{ Kubikfuß.}$$

§. 128. Ueber die nach der Theorie erforderliche Stärke und Form eines Deiches, um dem Drucke des Waſſers gehörig Widerſtand zu leiſten, haben Boſſut und Viallet Unterſuchungen angeſtellt. Indem hier auf das von ihnen unter dem Titel: Unterſuchungen über die beſte Conſtruction der Deiche a. d. Franz. von Kröncke, Frankf. a. M. 1798, erſchienene Werk verwieſen wird, ſcheint es nicht unpaſſend zu ſeyn, folgende kurze Bemerkungen hier einzuſchalten.

Die durch die Sturmfluthen am Ende des Jahres 1824 und am Anfange des Jahres 1825 auf verſchiedenen Stellen ſtattgefundenen Dammſtürzungen und Durchbrüche lehren, daß die bisherigen Deiche nicht überall die hinreichende Höhe gehabt haben, um ein gemäßigtes Ueberſtrömen zu verhindern, und eben ſo wenig die gehörige Stärke beſaßen, um einem Durchbruch widerſtehen zu können. Es bedarf die Deichwiſſenſchaft der

Digitized by Google

Erfahrungen noch sehr viele, daher eine Untersuchung der Wirkungen und Erfolge der letzten Sturmfluthen sehr die Kenntnisse von dem Deichwesen bereichern würde. Soll den Deichen eine größere Höhe gegeben werden, so kann dieses nicht leicht ohne verstärkende, größere Dossirung, und dieses nicht ohne Erweiterung des Deichfußes geschehen, welches aber wiederum das an diesen angränzende Strombett nicht leicht verstattet. Letzteres durch Eindämmungen oder durch vorzulegende Bärmen möglich machen zu wollen, würde mit einem unverhältnißmäßigen Kostenaufwande verbunden seyn, wenn solches überhaupt stattfinden kann. Dazu würde dann die Unterhaltung eben so kostspielig werden. Kann diese Sicherstellung aber auf der Stromseite nicht erreicht werden, so muß den Deichen die Verstärkung an der innern Seite und nach der Stromseite eine schrägere Dossirung gegeben werden. Verstatten die Umstände auch dieses nicht, so kann den Erfordernissen der Erhöhung und der Verlängerung der Dossirungslinie, so wie der Profilverstärkung vielleicht dadurch abgeholfen werden, wenn der Dossirung nach der Stromseite eine paraboliſche Form gegeben, und der Fuß zu seiner stärkern Befestigung mit Weidenstecklingen von etwa 2 Fuß Länge und 1 Zoll Dicke auf zwei Fuß Weite in Reihen von gleicher Entfernung bepflanzt wird. Haben nun die im Frühlinge gepflanzten Weiden im Herbste Schößlinge von 1—3 Fuß Länge getrieben, so müssen solche von einer Reihe nach der andern hinüber geflochten und an einander befestigt werden. Sollte aber der Boden des Deiches durch dieses Flechtwerk noch nicht so weit bedeckt werden, daß das Wasser nicht noch die Erde dahin durch oder dazwischen herausspülen könnte, so würde zwischen den Reihen der gepflanzten Stecklinge Buschwerk zu legen, und solches mit den Schößlingen zu befestigen seyn. Statt Anpflanzungen kann man auch den Fuß des Deiches durch Belegen mit Steinen oder Felsen befestigen und beschützen, welche auf Buschbetten gelagert und gegen das Hinaufschleudern von der Welle und Herunterstürzen auf

Digitized by Google

der Schräge durch Reihen dazwiſchen eingeſchlagener Pfähle geſichert werden.

Da der Verfaſſer Augenzeuge geweſen iſt, daß die bei einer Durchdeichung einer Kolke zur Ebbezeit hineingeworfene Erde zur Fluthzeit mit dem Strome fortgeſpült wurde, ſo würde es nach ſeiner Anſicht zweckmäßiger geweſen ſeyn, zwiſchen einem geſchlagenen Roſtwerke von Pfählen Erdkaſten zu verſenken. Vielleicht wäre eine Kaſtenverſenkung ohne die Durchſchlagung eines Roſtwerkes von Pfählen hinreichend geweſen, um dadurch jenes Wegſpülen zu verhindern, und um den Deich unbehindert hinter dieſen eingeſenkten Kaſten in die Brake hineinführen zu können. Wäre hier der Grund und Boden Sand, Lehm oder Thon, und wäre vor dem Deiche Vorland vorhanden, ſo möchte ſich vielleicht am leichteſten und wohlfeilſten der Einfluß in die Brake durch Verſenkungen ſtarker Faſchinen ſtopfen laſſen, welches jedoch bei einem Moorgrunde nicht anwendbar iſt, es ſey denn, daß man hinter der Faſchinenlage den Deich ſchlagen und ſolchen nicht über dieſelbe legen wollte.

Die weitere Ausführung und Entwickelung dieſes wichtigen Gegenſtandes kann hier, dem Plane dieſes Werkes gemäß, nicht vorgetragen werden, ſondern muß dem zweiten Bande, welcher eine praktiſche Anleitung zum Deich- und Flußbau enthalten wird, vorbehalten bleiben.

Von dem Gleichgewichte des Waſſers gegen feſte Körper, die entweder ganz oder nur zum Theil in ſelbiges eingetaucht ſind.

§. 129. Nach dem hydroſtatiſchen Geſetze verliert ein vom Waſſer umgebener Körper ſo viel an ſeinem Gewichte, als das von ihm aus ſeiner Stelle gedrückte Waſſer wiegt, oder ein vom Waſſer umgebener Körper wiegt im Waſſer ſo viel weniger, als die Schwere der Waſſermaſſe beträgt, deren Raum er einnimmt; denn die dadurch aus ihrer

Digitized by Google

Stelle gedrückte Wassermasse treibt den Körper aufwärts mit einer Kraft gleich ihrer Schwere.

Der Beweis dieses Satzes kann auf folgende Art geführt werden.

In Fig. 125 sey ABCD ein mit Wasser angefülltes Gefäß und AB der Wasserspiegel. Wird nun ein fester Körper abcd in das Gefäß eingetaucht, so leidet er in jedem Punkte seiner Außenflächen einen Druck gleich demjenigen, welchen die zur Seite gedrückte Wassermasse nach Maaßgabe ihrer Tiefe unter dem Wasserspiegel erlitten hat; denn jedes Wassertheilchen in den horizontalen Schichten mn und hp leidet einen Druck, welcher seiner Tiefe unter dem Wasserspiegel proportional ist.

Da nun der horizontale Druck auf die Seitenfläche sich gegen einander hebt, indem dieser in jeder Schicht gleich und gerade entgegengesetzt wirkt, hingegen die untere Fläche cd einen Druck aufwärts $= cd.ei.\gamma$, und die obere Fläche einen Druck unterwärts $= ab.ek.\gamma$ leidet, so würde der Körper abcd, wenn er keine Schwere hätte, mit der Kraft $cd.ei.\gamma - ab.ck.\gamma$ aufwärts getrieben. Es ist aber $ab = cd$ und $ei - ek = ki$, daher würde der Auftrieb oder der Druck aufwärts $= ab.ki.\gamma =$ dem Gewichte des aus seiner Stelle gedrückten Wasserkörpers. Ist das Gewicht des eingetauchten Körpers größer, als das Gewicht des aus seiner Stelle gedrückten Wassers, so sinkt der Körper mit der Differenz beider entgegenwirkenden Kräfte; ist hingegen jenes Gewicht weniger schwer als dieses, so wird der Körper mit dem Ueberschuß der Kraft steigen, und wenn beide Gewichte einander gleich seyn sollten, so bleibt der eingetauchte Körper ruhig an seinem Orte.

§. 130. Ein Körper schwimmt demnach, wenn sein absolutes Gewicht geringer, als das der Wassermasse ist, die er beim völligen Untertauchen ihrer Stelle drückt. Daher kann ein schwimmender Körper nur so tief einsinken, bis der Auftrieb des Wassers seinem absoluten Gewichte gleich kommt.

Digitized by Google

Diese Kraft des Auftriebs oder des Gewichtverlustes eines ins Wasser getauchten Körpers wird gefunden, indem man sein absolutes Gewicht durch die Verhältnißzahl des specifischen Gewichts seiner Materie dividirt. Bezeichnet

P das absolute Gewicht eines Körpers,
g die Verhältnißzahl des eigenthümlichen Gewichts,
γ das Gewicht eines Kubikfußes Wasser,
v den Inhalt des Körpers in Kubikfuß,
Q den Auftrieb oder das Gewicht des aus seiner Stelle gedrängten Wassers:

so ist $Q = v\gamma$

Nach der im ersten Abschnitte vorgetragenen Lehre ist

$P' = g\gamma v$ oder $P = gQ$ daher $Q = \frac{P'}{g}$

Aus der vorstehenden Lehre kann man sich die Ursache leicht erklären, daß große Steine im Wasser mit einer nicht mit ihrer Schwere im Verhältniß stehenden Kraft fortgewälzt werden, und daß Faschinenwerke am Ufer beim Ablaufen des Wassers sinken, so wie auch andere ähnliche Erscheinungen.

Auch gründet sich auf vorstehende Lehre die Methode, welcher man sich bedient, nicht nur um versunkene Lasten aus der Tiefe zu heben, sondern auch, um eingerammte Pfähle bei Wasserbauen aus dem Grunde zu ziehen; denn, wenn man einen specifisch leichtern Körper als das Wasser mit einem specifisch schwerern verbindet, so kann letzterer bis zur Oberfläche des Wassers gehoben werden, sobald der Inhalt des leichtern Körpers mit dem des schwerern und den eigenthümlichen Gewichten von beiden im gehörigen Verhältnisse stehet.

Digitized by Google

Vierter Abschnitt.

Allgemeine Betrachtungen über die Bewegung des Wassers.

§. 131. Der Zweifel, welchen die unterrichtetsten Naturforscher früher gegen jede abstracte Theorie der Bewegung des Wassers hatten, und der Hang der größten Mathematiker, die praktisch-mathematischen Wissenschaften in eben solcher Strenge und Bündigkeit vorzutragen, wie die reine Mathematik, haben den Fortschritten dieser Wissenschaft über die Bewegung des Wassers und über die Kräfte, mit denen es auf Körper wirkt, sehr geschadet. Erst in der Mitte des 17ten Jahrhunderts fing man an, die Theorie dieser Wissenschaft mit den Erfahrungssätzen zu vereinigen. Freilich findet man einige Winke und Regeln über die Bewegung des Wassers in einer Abhandlung, welche dem Sextus Julius Frontinus, der unter den Kaisern Nerva und Trajan Aufseher über die öffentlichen Wasserleitungen in Rom war, zugeschrieben wird, und welche den Titel de aquaeductibus urbis Romanae commentarius hat; allein diese sind nicht bedeutend genug, um Aufmerksamkeit zu verdienen, weil sie nur alltägliche Beobachtungen enthalten. Benedict Castelli, ein Schüler

Digitized by Google

des berühmten Galilei, der, nachdem er eine Zeit lang in dem Kloſter Monte Caſſino ſich aufgehalten hatte, vom Papſte Urban VIII. nach Rom als Profeſſor der Mathematik berufen wurde, iſt der erſte, welcher in ſeiner Schrift Della messura dell' acque currenti uns lehrte, daß die Waſſermenge bei fließenden Gewäſſern vom Flächeninhalte des Querſchnitts und der Geſchwindigkeit des Waſſers abhänge. Auch glaubte er durch einen Verſuch den von ihm angenommenen Satz beſtätigt zu finden, daß die Geſchwindigkeit des durch eine Oeffnung ſtrömenden Waſſers ſich wie die Höhe des Waſſers über der Oeffnung verhalte. Dieſem Lehrſatze wurde aber von Torricelli, einem Schüler des Caſtelli, der nach dem Tode des Galilei von dem Großherzog Ferdinand II. in Florenz zum Profeſſor der Mathematik ernannt wurde, widerſprochen. In ſeiner im Jahre 1644 gedruckten Schrift del moto dei gravi gab er folgendes Geſetz an: daß die Geſchwindigkeiten des Waſſers ſich nicht wie die Höhen des Waſſers ſelbſt, ſondern wie die Quadratwurzeln ſeiner Druckhöhen verhalten (ſ. Käſtner's Anfangsgründe der Hydrodynamik, zweite vermehrte Auflage, Göttingen, §. 96 S. 67 u. f.) Die von mehreren Gelehrten, als Mariotte, Gulielmeni und Boſſut, darüber angeſtellten Verſuche beſtätigen dieſes Torricelliſche Geſetz. — Nachdem man nun ſolches durch die Erfahrung kennen gelernt hatte, und es daher als einen beſtätigten Satz gelten laſſen muß — wobei jedoch zu bemerken, daß, wenn die lothrechte Höhe der Seitenöffnung in Bezug auf die lothrechte Entfernung des Waſſerſpiegels von dieſer Oeffnung nur klein iſt, man alsdann die Entfernung des Schwerpunktes der Oeffnung vom Waſſerſpiegel als Geſchwindigkeitshöhe annimmt — beſchäftigten ſich in dem Anfange des vorigen Jahrhunderts die größten Mathematiker, welche nicht mit bloßen Erfahrungskenntniſſen zufrieden waren, mit der Theorie des erwähnten Torricelliſchen Lehrſatzes. Hermann, Zendrini, Newton und Langsdorff ſuchten

Digitized by Google

diesen Satz aus dem freien Falle der einzelnen Wassertheile gegen die Oeffnung herzuleiten. Johann und Daniel Bernoulli, d'Alembert und Euler gründeten die Theorie dieses Gesetzes, jeder nach einer andern Methode, auf die verminderte Wirkung der Schwerkraft bei Massen, die als ein ganzes System von Kräften, welche zum Theil einander entgegen wirken, getrieben werden. Diese Lehren wurden von Kästner, de la Grange, Bossut, Prony, Karsten u. a. m. angenommen und in ein helleres Licht gesetzt *).

§. 132. Aus dem Torricellischen Lehrsatze findet man zwischen dem freien Falle der Körper und der Bewegung des Wassers durch Oeffnungen eine gewisse Uebereinstimmung in Absicht der zugehörigen Höhen und erlangten Geschwindigkeiten. Man ist daher berechtigt, für eine ganz freie und ungehinderte Bewegung des Wassers eben die Gesetze, wie beim freien Falle fester Körper anzunehmen; diese so berechnete Wassermenge wird die hypothetische genannt. Wenn aber Wasser durch eine Oeffnung durchläuft, so sind nach den verschiedenen Gestalten, welche eine Oeffnung haben kann, die Geschwindigkeiten in derselben verschieden, weil sich nicht nur die Wassertheile von den Wänden der Oeffnung losreißen müssen, sondern auch da-

*) Hermann, Phoronomia sive de viribus et motibus corporum solidorum et fluidorum, 1716. J. Bernoulli, Hydraulica nunc primum detecta ac demonstrata directe ex fundamentis pure mechanicis, 1732. Daniel Bernoulli, Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum Commentarii, 1738. Euler, Principia motus fluidorum. Eben derselbe, Principes généraux du mouvement des fluides in der Histoire de l'Acad. de Berlin, 1755. d'Alembert, Traité de l'équilibre et du mouvement des fluides, 1744. Kästner, Anfangsgründe der Hydrodynamik, 1769. Karsten, Lehrbegriff der gesammten Mathematik, 5 Th. Bossut, Lehrbegriff der Hydrodynamik, 1792. Prony, Architecture hydraulique, 1790. De la Grange, Mécanique analitique, 1788. Bernhard, Grundlehre der Hydraulik, 1790. Langsdorff, Lehrbuch der Hydraulik, 1794.

Digitized by Google

durch, daß ſich das Waſſer von allen Seiten nach der Oeffnung bewegt, eine Ablenkung der Waſſertheile von ihrer Bahn entſteht, welche eine Contraction oder Zuſammenziehung des Strahls bewirkt. Dieſe Zuſammenziehung in dem ausfließenden Waſſerſtrahle entdeckte zuerſt Newton. Er fand, daß in einem Abſtande von ungefähr einem Durchmeſſer der Mündung der Querſchnitt des Strahles ſich beinahe in dem Verhältniſſe von $\sqrt{2} : 1$ zuſammenzog. Da er nun aus der in einer gewiſſen Zeit durch die Oeffnung ausfließenden Waſſermenge gefunden hatte, daß die Geſchwindigkeit des Waſſers in der Oeffnung eben ſo groß ſey als die, welche ein ſchwerer Körper durch den freien Fall von einer Höhe, die der über der Ausmündung gleich ſey, erlangt haben würde, ſo leitete er daraus den Schluß, daß die Geſchwindigkeit des ausfließenden Waſſers in der Mündung ſelbſt derjenigen gleich ſey, welche ein ſchwerer Körper durch den freien Fall durch die halbe Druckhöhe erlangt haben würde.

§. 133. Das Verhältniß des Inhalts des Querſchnitts des Strahls im Punkte der größten Zuſammenziehung zu dem der Ausflußöffnungen erleidet Veränderungen, wenn die Wand oder der Boden des Gefäßes mehr oder weniger dick iſt, oder wenn an der Ausflußöffnung eine Anſatzröhre angebracht wird. Es iſt daher nur durch Verſuche möglich, für die verſchiedenen Arten des Ausfluſſes anzugeben, welchen Veränderungen die Waſſermenge und mittleren Geſchwindigkeiten unterworfen ſind. Mehrere Naturforſcher, als Poleni, Bernoulli, du Buat, Michelotti, Venturi, haben ſich bemüht, das Verhältniß der Durchmeſſer im Punkte der größten Zuſammenziehung und in der Oeffnung zu beſtimmen. Allein die von Boſſut und Eytelwein (ſ. deſſen Handbuch der Mechanik und Hydraulik, zweite Auflage, 1823. II. Abth. 1ſtes Cap.) hierüber angeſtellten Verſuche, welche auch nicht bedeutend von einander abweichen, ſind die entſcheidendſten. Aus dieſen Verſuchen entſtehen folgende Reſultate:

Digitized by Google

1) Wenn das Wasser durch eine kreisförmige Oeffnung in einer dünnen Wand abfließt, so ist die Ausflußmenge wegen der Zusammenziehung des Wasserstrahls nicht ganz hinreichend, um diesen Querschnitt bei einer zur Druckhöhe gehörigen Geschwindigkeit ausfüllen zu können; denn um jene Ausflußmenge genauer zu finden, muß man annehmen, daß die Mündung sich auf 0,619 oder beinahe $\frac{5}{8}$ vermindere. Daher kann die Quadratwurzel aus der Höhe mit 4,8936 multiplicirt werden, um die mittlere Geschwindigkeit in einer bloßen Ausflußöffnung zu erhalten.

2) Läuft das Wasser durch eine in der Oeffnung angebrachte cylindrische Ansatzröhre, bei welcher der Strahl überall den Wänden derselben folgt, und deren Länge dem Zweifachen des Durchmessers gleich seyn muß, so beträgt die Ausflußmenge ungefähr $\frac{13}{20}$ der hypothetischen, daher man die mittlere Geschwindigkeit des Wassers beim Eintritt in die Röhre findet, wenn man die Quadratwurzel der Höhe mit 6,42 multiplicirt.

3) Wird eine Röhre in der Oeffnung so angebracht, daß sie in den Behälter tritt, alsdann vermindert sie die Ausflußmenge beinahe um die Hälfte.

4) Läuft das Wasser durch eine in der Oeffnung angebrachte konische Röhre, deren Gestalt sich der des zusammengezogenen Strahls nähert, so beträgt die Ausflußmenge nur etwa $\frac{1}{10}$ von der hypothetischen. Man findet also die Geschwindigkeit, wenn man den Multiplicator $= 7,646$ setzt.

§. 134. Eytelwein giebt uns in seinem oben angeführten Werke am Schlusse des ersten Capitels eine Tafel, welche die Coefficienten enthält, deren man sich unter verschiedenen Umständen bedienen muß, um die mittlere Geschwindigkeit des bei einer gegebenen Druckhöhe auslaufen-

Digitized by Google

den Waſſers zu finden. Nach dieſer Tafel muß die Quadratwurzel aus der Druckhöhe multiplicirt werden:

1) beim freien Falle des Waſſers mit 7, 91;
2) für eine Mündung von der Geſtalt des zuſammengezogenen Strahles mit 7, 646;
3) für weite Oeffnungen, deren Boden mit dem des Behälters in einerlei wagerechter Ebene liegt; für Schleuſen mit Flügelwänden, die mit der Oeffnung in einer Linie liegen; für Brücken mit ſpitzen Pfeilern mit 7, 54;
4) für enge Oeffnungen, deren Boden mit dem des Behälters in einerlei wagerechter Ebene liegt; für kleine Oeffnungen in einer Schleuſe mit Flügelwänden, für ſteile Einbaue und gerade Brückenpfeiler mit 6, 76;
5) für kurze Röhren, drei oder viermal ſo lang als ihr Durchmeſſer, mit 6, 42;
6) für Oeffnungen in Schleuſen ohne Flügelwände mit 5, 0;
7) für Oeffnungen in dünnen Wänden mit 4, 89.

§. 135. Um das in dem Vorhergehenden Geſagte näher zu erläutern, mögen folgende Beiſpiele dienen.

Wenn ein Gefäß QR, Fig. 126, fortwährend gleich hoch mit Waſſer angefüllt bleibt, ſo kann man ſich in der Verticallinie AB, welche ſich in der verticalen Wand QR befindet, mehrere kleine Oeffnungen P, B u. ſ. w. vertical über einander denken, und für jede derſelben die dazu gehörige Geſchwindigkeit des Waſſers beſtimmen.

Man beſchreibt an die ſenkrechte Linie AB eine Parabel AMg, ſo daß die Semiordinaten PM, EH ſich gegen einander verhalten, wie die Wurzeln ihrer Abſciſſen AP, AE, folglich $\sqrt{AP} : \sqrt{AE} = PM : EH$, alsdann ſind die Abſciſſen AP, AE und AB als die Druckhöhe $= H$, und die Semiordinaten PM, EH und BG als die ihnen zukommende Geſchwindigkeit $= C$ anzuſehen.

Stellt man ſich nun vor, daß längs der ganzen Linie AB kleine Oeffnungen ſo nahe an einander lägen, daß ihre

oberen und unteren Flächen einander berührten, so kann man das ausfließende Wasser als einen Körper betrachten, welcher die Parabelfläche AGBA zur Grundfläche und die geringe Breite der Oeffnungen zur Höhe hat.

Es ist der Inhalt der Parabelfläche $= \frac{2}{3}$ AB . BG; wenn daher β die geringe Breite jener Oeffnungen bezeichnet, so findet man das durch die Spalte AB fließende Wasser für jede Secunde $= \frac{2}{3}$ AB . BG . $\beta = \frac{2}{3}$ HC . β. Da nun die hypothetische Geschwindigkeit $C = 2\sqrt{g}\sqrt{H}$ sey, so findet man den Werth für C, wenn man den Multiplicator $2\sqrt{g}$, dessen Werth in dem vorhergehenden §. angegeben ist, gleich a setzt. Demnach ist die Wassermenge $= \frac{2}{3}$ H . β . a $\sqrt{H}$, oder wenn man eine oben offene rechtwinkelige Oeffnung ABCD in der ganzen verticalen Wand annimmt, und die Breite

$$AC = BD = b$$

setzt, so wird durch das Rechteck ABCD, wenn das Wasser in unveränderlicher Höhe bei AC erhalten wird und dem Abflusse keine Hindernisse im Wege stehen, in jeder Secunde die Wassermenge

$$(A)\quad M = \frac{2}{3} abH\sqrt{H} = \frac{2}{3} ab\sqrt{H^3}$$ abfließen.

Hieraus folgt

$$(B)\quad H = \frac{\sqrt[3]{M^2}}{(\frac{2}{3}a^2)\,b^2}$$

$$(C)\quad b = \frac{M}{\frac{2}{3}a\sqrt{H^3}}$$

Will man die Wassermenge wissen, welche in jeder Secunde durch die Oeffnung omnp, Fig. 126, bei unveränderter Druckhöhe abfließt, so darf man nur zuvörderst die Wassermenge, welche durch ABCD ausläuft, und dann die abfließende Wassermenge aus der Oeffnung umnv berechnen, indem man sich die Oeffnung omnp verschlossen denkt. Wird demnach letztere von der ersteren abgezogen, so bleibt die Wassermenge M übrig, welche in jeder Secunde durch

Digitized by Google

die Oeffnung omnp abfließt. Man wird dann finden, daß die durch den Raum omnp abfließende Waſſermenge =

$$\frac{2}{3} ab \left[\sqrt{H^3} - (\sqrt{H-h})^3\right]$$

wenn b die Breite, h die Höhe der Oeffnung omnp, H die Höhe des Waſſerſtandes und a nach den in dem vorhergehenden §. angeführten Bedingungen beſtimmt wird, bezeichnet.

§. 136. Erhält ein mit Waſſer vollſtändig angefüllter Behälter ABCD, Fig. 127, keinen Zufluß, ſo nehmen die Geſchwindigkeiten des durch die im Boden befindliche Oeffnung mn ausfließenden Waſſers in eben dem Verhältniſſe ab, wie die Druckhöhen. Man kann daher die für die verſchiedenen Druckhöhen hervorgebrachte Geſchwindigkeit durch eine umgekehrte Parabel EQQ′B darſtellen, bei welcher der Scheitelpunkt im Boden des Behälters liegt, indem die Abſciſſen BP′, BP die Höhen, und die Ordinaten P′Q′, PQ die den Höhen gehörigen Geſchwindigkeiten ausdrücken. Da nun bereits im erſten Abſchnitte erwieſen worden, daß während der Zeit, in welcher ein ſteigender Körper mit einer beſtimmten Gaſchwindigkeit ſeine größte Höhe erreicht hat, oder bis ſeine Geſchwindigkeit = o wird, ein anderer Körper, der fortwährend ſeine anfängliche Geſchwindigkeit behält, einen doppelt ſo großen Raum durchläuft, ſo wird daher aus ähnlichen Gründen, in der Zeit, in der ſich der cylindriſche Behälter ausleert, bei unveränderlicher anfänglicher Geſchwindigkeit oder bei voll erhaltenem Behälter, doppelt ſo viel Waſſer auslaufen.

Setzt man alſo die Fläche des Waſſerſpiegels AD = F, die Fläche der Ausflußöffnung mn = α, die Druckhöhe AB = H, ſo iſt der Inhalt des Waſſerkörpers AC = F.H. Iſt nun t die Zeit, in welcher ſich das Gefäß ausleert, ſo muß in dieſer Zeit, bei einem ſtets voll erhaltenen Gefäße,

doppelt so viel Wasser auslaufen, mithin beträgt das ausgeflossene Wasser 2.F.H. Dies giebt

$2.F.H = t.\alpha.a\sqrt{H}$ daher die Zeit der Ausleerung $t = \frac{2}{a} \cdot \frac{F\sqrt{H}}{\alpha}$ in welcher Gleichung der Werth von a nach den im §. 134 angeführten Bedingungen bestimmt werden muß.

§. 137. Mittelst der Anwendung oben stehender Gleichungen kann man die Zeit finden, welche zum Anfüllen und Ablassen einer Schleusenkammer erfordert wird.

Soll eine Schleusenkammer BCOPI, Fig. 128, durch die im Oberthore BC befindliche Oeffnung EF mit Wasser angefüllt werden, so wird, unter der Voraussetzung, daß der Wasserstand vor der Verbindungsöffnung unverändert bleibt, der unter dem Schwerpunkte G befindliche Raum $GCOPH = N$ mit Wasser angefüllt in der Zeit $t = \frac{1}{a}\frac{N}{\alpha\sqrt{H}}$; denn in der ersten Secunde beträgt die in der Schleusenkammer durch die im Oberthore befindliche Oeffnung ausströmende Wassermenge $= \alpha.a\sqrt{H}$, wenn α den Flächeninhalt der Oeffnung bezeichnet, daher in der Zeit von t Secunden der unterste Raum $GCOPH = N$ mit Wasser angefüllt wird, oder

$N = t.\alpha.a\sqrt{H}$ folglich

$t = \frac{1}{a} \cdot \frac{N}{\alpha\sqrt{H}}$

Die Zeit, in welcher der oberste Raum BgHI angefüllt wird, kann nach dem vorigen §. leicht bestimmt werden. Werden also die zur Anfüllung beider Räume erforderlichen Zeiten zusammengenommen, so findet man die für die Anfüllung des Schleusenkammerraums erforderliche Zeit.

Ist die Schleusenkammer mit Wasser angefüllt, so läßt sich die Zeit, in welcher sich das im Raume BOPI enthaltene Wasser durch die Schutzöffnung KL im Unterthore IM

in das Unterwaſſer ausleert, nach der im vorigen §. gefundenen Gleichung berechnen.

Nach den von Eytelwein hierüber angeſtellten Verſuchen weicht dieſe Theorie nicht ſehr von der Erfahrung ab. —

Von der Bewegung des Waſſers im Flußbette.

Einleitung.

Aus Mangel an hinlänglichen Erfahrungen und Kenntniſſen von den auf die Bewegung des Waſſers in Flußbetten einwirkenden Umſtänden, iſt bis jetzt kein allgemeines Geſetz gefunden worden, welches die Geſchwindigkeit des Waſſers in Flußbetten genau angiebt, und alle dabei einwirkenden Umſtände in ſich vereinigt. Nur gründet ſich die darüber aufgeſtellte Theorie auf die über die Geſchwindigkeit des Waſſers in einem geraden Flußbette, wo alle Querprofile einander gleich ſind, mithin die Bewegung gleichförmig iſt, gemachten Erfahrungen. Wenn aber die Bewegung des Waſſers nicht gleichförmig iſt, die Profile ungleich ſind, oder die Strombahn Krümmungen hat, ſo ſind die gemachten Beobachtungen nicht hinreichend, um einen allgemein geltenden Ausdruck aufzuſtellen. Denken wir uns einen Fluß mit durchaus regelmäßigem Bette, mit gleichem Zu- und Abfluß, das Waſſer in allen Tiefen jedes Profils gleich ſtark fließend, ſo würde die Geſchwindigkeit deſſelben in allen Punkten eines jeden Querſchnittes vollkommen gleich ſeyn. Ein ſolcher Zuſtand, welcher der hydrauliſche Beharrungsſtand genannt wird, findet aber nicht in der Wirklichkeit ſtatt; er iſt nur Ideal; denn die allgemein in der Natur verbreitete Adhäſionskraft, vermittelſt welcher das Waſſer des Fluſſes mit den Ufern und dem Bette deſſelben zuſammenhängt, der Zuſammenhang des Waſſers mit der darauf ruhenden Luft, die Unebenheit des Flußbettes, die Unregelmäßigkeiten der Ufer und die Krümmungen der

Flußbahn äußern einen bedeutenden Einfluß auf die Bewegung des Wassers in Flußbetten. Von diesen einwirkenden Umständen können die beiden ersten nicht beseitigt werden. Wenn aber auch ein vollkommener hydraulischer Beharrungsstand ein Ideal ist, so steht es nichtsdestoweniger in unserer Gewalt, durch einen möglichst regelmäßigen Zustand des Bettes eine möglichst gleichförmige Bewegung des Wassers zu erzielen, und auf diese Art uns dem Ideale zu nähern. Die von du Buat in seiner Hydraulik für die Bewegung des Wassers in Flußbetten aufgestellten Gesetze gründen sich auf die von ihm während des Beharrungsstandes des Flusses gemachten Erfahrungen. Dieser Zustand darf aber nicht mit dem hydraulischen Beharrungsstande des Flusses verwechselt werden.

Wenn die Flüsse bei trockener Jahreszeit und bei dem niedrigsten Wasserstande weder steigen noch fallen, also gleichen Zu- und Abfluß haben, so nennt man diesen Zustand Beharrungsstand des Flusses. Daß dieser Zustand in jedem der Natur überlassenen Flusse periodenweise stattfinden könne und müsse, und daß dabei weder die Geschwindigkeit in einzelnen Profilen, noch diese selbst, oder die durch sie strömenden Wassermengen gleich seyn können, ist gewiß jedem einleuchtend. Der Beharrungsstand des Flusses ist für Wasserbauten aller Art der günstigste. Die von du Buat aus seinen Erfahrungen hergeleiteten Gesetze sind uns demnach sehr wichtig. Sie sollen daher angeführt werden, wenn zuvörderst die Ursachen, welche die Geschwindigkeit der Flüsse verzögern, und überhaupt die wichtigsten Wirkungen und Veränderungen, welche in solchen stattfinden, und welche der Hydrotekt vorzugsweise zu beherrschen suchen muß, angegeben sind. Die Mittel, welche zur Erreichung der mannichfaltigen Zwecke des Flußbaues und zur Verbesserung der Flüsse erforderlich sind, so wie auch deren nähere Anwendung und Ausführung, können erst im 2ten Bande dieses Werkes beschrieben werden. Hier möge die Erklärung der dabei vorkommenden Ausdrücke folgen.

Digitized by Google

§. 138. Ein natürlich fließendes Wasser bezeichnet man gewöhnlich, nach Maaßgabe seiner Beträchtlichkeit, durch die Wörter Bach, Fluß, Strom, auch werden diese drei Begriffe durch den Namen Fluß bezeichnet. Einige Hydrotekten unterscheiden zwischen Fluß und Strom, indem sie theils nur die größern und reißenden, theils nur diejenigen schiffbaren Gewässer, welche sich unmittelbar in Meere ergießen, Ströme nennen. In diesem letztern Falle erhält dasjenige schiffbare Wasser, welches sich in einen Strom ergießt, den Namen Fluß, so wie ein kleines, nicht schiffbares Wasser Bach genannt wird. Jeder unmittelbar in den Erdboden durch Menschenhände angebrachte Einschnitt, mit oder ohne Wasser, heißt ein Graben, und eine mit hölzernen oder steinernen Wänden eingefaßte Wasserleitung wird ein Gerinne genannt. — Die Vertiefung, in der das Wasser fließt, oder die Aushöhlung, welche ein fließendes Wasser einnimmt, nennt man das Flußbett; die Ränder desselben die Ufer, und die Fläche des Bettes Wand des Flußbettes. Denkt man sich einen Fluß senkrecht durch seine Bahn von einer lothrechten Ebene geschnitten, so entsteht ein Quer- oder Breitenprofil, ein Querschnitt. Der Umriß des Flußbettes, so weit er vom Wasser benetzt wird, heißt der Umfang des Profils und die Fläche des Querschnittes eine Querwand. Der Quotient aus dem Umfange in die Profilfläche heißt die mittlere Tiefe.

Der Raum, in welchem der Fluß seine Wassermasse fortbewegt, und welchen er zur Fortschaffung derselben bedarf, heißt die Strombahn. Ihre Seitenbegränzung ist das Ufer, aber nicht die vom Ufer unregelmäßig gebildete, sondern diejenige Begränzung, welche durch die Linie gebildet wird, die man längs der vorragenden Stelle der Ufer zieht. Die Uferlinie, welche von dieser Linie rückwärts liegt, kann wohl als die sichtbare Gränze des Flusses, aber nicht als die Gränze seiner Bahn betrachtet werden; denn dieses von den rückwärts liegenden Ufern und der eigent-

Digitized by Google

lichen Stromgränze eingeschlossenen Raumes bedarf der Fluß nicht für Fortschaffung seiner Wassermasse. Der Abstand zwischen der wahren Seitenbegränzung der Strombahn heißt die Normalbreite des Flusses, denn sie ist die Breite, welcher der Fluß nur bedarf, um seine Wassermasse (mit Ausnahme bei Hochwassern, wenn der Fluß aus seinen Ufern tritt) abzuführen, ohne seine Ufer zu beschädigen und ohne Untiefen zu bilden. Sind die Ufer des Flusses bei hinlänglicher Tiefe unbeschädigt, so sind die Ufer die Gränze der Strombahn.

Weicht die Strombahn bedeutend von der geraden Linie ab, so bildet sie eine Flußkrümmung, und ist diese Krümmung einem S ähnlich, eine Schlangenkrümmung (Serpentine). Von den beiden Ufern einer Krümmung heißt das eine das einwärts gebogene (concave), das andere das auswärts gebogene (convere). Wird eine solche Schlangenkrümmung durchgegraben, so entsteht ein Durchstich.

Die untere Begränzung der Strombahn wird durch die Fläche des Flußbettes gebildet; allein nicht die wirklich vorhandene und krumme Linie, sondern nur die gerade Linie, welche über die erhabenen Punkte der Fläche des Flußbettes gezogen wird, bildet die untere Begränzung der Strombahn.

Die Neigung der Oberfläche des Flusses in der Richtung seiner Bahn heißt die Neigung des Flusses, das Gefälle oder der Fall des Flusses. Dagegen wird die Neigung der unteren Begränzung der Strombahn die Neigung des Flußbettes genannt. Ist also von dem Gefälle des Wasserspiegels die Rede, so heißt das die Neigung des Flusses. Gewöhnlich pflegt man das Gefälle für die Länge von 1000 Fuß anzugeben. Die Neigung des Flußbettes sucht man in jener Linie der Strombahn, in welcher die größte Tiefe derselben sich hinzieht. Diese Linie heißt die Stromrinne. Legt man durch die Stromrinne eine lothrechte Ebene, so bezeichnet sie das Längen-

Digitized by Google

profil; dieſe Ebene ſelbſt wird die Stromſtrichswand genannt. Zieht man auf dem geometriſchen Plane eines Fluſſes eine Linie in der Länge der Strombahn durch die Punkte, in welchen die größte Geſchwindigkeit des Fluſſes ſtattfindet, ſo nennt man dieſe Linie den Stromſtrich.

§. 139. In einer regelmäßigen geraden Strombahn, wo der Fluß ſeine Normalbreite hat, findet man die Stromrinne faſt immer in der Mitte derſelben, oder wenigſtens nicht weit davon entfernt; auch findet ſich hier eine regelmäßige und gleichförmige Tiefe, die Normaltiefe. In Krümmungen weicht aber die Strombahn, beinahe ohne Ausnahme, gegen das einwärts gebogene Ufer ab, und legt ſich oft ſo nahe an daſſelbe, daß ſie Uferabbrüche verurſacht. Der Stromſtrich und die Stromrinne treffen faſt immer zuſammen, nur mit Ausnahme der Stellen, wo der Boden den Fluß hindert, ſich in der Richtung ſeiner größten Geſchwindigkeit am tiefſten einzugraben. Dehnt ſich der Fluß über ſeine Normalbreite aus, ſo verliert er an ſeiner Tiefe; denn das Product aus dieſer mit der Breite iſt die Quadratfläche ſeines Querſchnittes; wenn daher der eine der beiden Factoren größer wird, muß der andere nothwendig kleiner werden. So wie der Fluß an Breite zu- und an Tiefe abnimmt, ſo verliert er an Kraft, den Sand und die Geſchiebe ſeines Bettes fortzuſchaffen; dadurch wird ſein Bett erhöht, Untiefen, Sandbänke, Inſeln und Uferabbrüche erzeugt, und der Fluß verliert an Fall und Geſchwindigkeit. Oft theilt ſich in dieſem Falle die Stromrinne und mit ihr der Stromſtrich in zwei oder mehrere Arme.

Zieht man durch die Punkte des Flußbettes, wo die Normaltiefe vorhanden iſt, eine gerade Linie, mit welcher dann die Linie, welche die Neigung des Fluſſes bezeichnet, parallel wird, ſo erhält man durch dieſe beiden Linien das Normallängenprofil des Fluſſes. Wird durch irgend einen Gegenſtand das Profil erhöht, ſo ſchwillt das Waſſer oberhalb an, und es entſteht eine Stauung. Dieſe

Erscheinung kann auch bei bloßer Verengerung des Profils erfolgen, ohne daß das Bett selbst erhöht werden darf. So ist es der Fall, daß eine zu geringe Breite des Flusses (Stromenge) gewöhnlich die Tiefe des Flusses vermehrt, so lange bis die erforderliche Quadratfläche des Querschnitts des Flusses hergestellt wird, entweder durch unmittelbare Vertiefung des Flußbettes, oder, wenn das Flußbett der Vertiefung widersteht, durch Erhöhung des Wasserspiegels, d. i. durch Anstauung. In diesem Falle entsteht in der Stromenge eine größere Neigung des Flusses und dadurch eine Vermehrung der Geschwindigkeit.

Diese größere Geschwindigkeit ersetzt die geringere Tiefe, so daß der Fluß eine eben so große Wassermenge abzuführen im Stande ist.

Wenn nichts den Fluß stört, die in Hinsicht auf seinen Fall und seine allgemeine Beschaffenheit ihm eigenthümliche Geschwindigkeit anzunehmen, so wird diese die Normalgeschwindigkeit genannt. Diese ändert sich nach dem höhern oder niedrigern Wasserstande, daher man bei ihrer Bestimmung zugleich die Wasserhöhe bezeichnen muß, bei welcher sie stattfindet. Gewöhnlich wählt man dazu den mittlern Wasserstand.

§. 140. Wenn die Neigung, sowohl des Flusses als seines Bettes, auf die ganze Länge der Flußstrecke gleichförmig vertheilt ist, so ist die Geschwindigkeit am größten, wie wir in der Folge sehen werden. Kann aber nicht überall eine gleichförmige Vertheilung des Falles bewirkt werden, so wird doch fast eine gleichförmige Tiefe und mit ihr eine beinahe gleichförmige Neigung durch Erhaltung und Herstellung der Normalbreite bewerkstelligt werden. Die Widerströme von krumm laufenden, bald steilen, bald flachen Ufern, die Zusammenziehungen von abwechselnd engen und weiten Querprofilen, und Stromrinnen, von seichten Sandbänken und Inseln erzeugt, machen nothwendig die Geschwindigkeiten des Wassers in den einzelnen Profilen sehr verschieden. Die hieraus entstehenden nachtheiligen und verderblichen Wirkungen wer-

Digitized by Google

den noch vergrößert, wenn Verſtopfungen ſtattfinden, die den ganzen Fluß mit einem Eisdamme verſchließen und ihn dann zwingen, fürchterliche Verheerungen zu verurſachen. Es muß daher der Hydrotekt vorzüglich die ungleichförmige Breite und die Flußkrümmungen zu entfernen ſuchen.

Soll z. B. ein Fluß unterhalb eines Beigrabens das Waſſer gehörig abführen, ſo muß die Normalbreite gh, Fig. 129, ſo vielmal größer als die cd genommen werden, ſo vielmal die Abflußmenge durch cd und ef zuſammen genommen größer iſt, als die durch cd. Es ſey cd = 16, ef = 7, die Abflußmenge durch cd in jeder Secunde 100 Kub. Fuß, die durch ef = 30 Kub. Fuß, ſo hat man

$$100 : 130 = cd : gh = 16 : gh \text{ folglich}$$

$$gh = \frac{16 \times 130}{100} = 20{,}8 \text{ Fuß.}$$

§. 141. Iſt in einem Flußbette die Oberfläche des Waſſers horizontal, der Boden mag eine Geſtalt haben, welche er will, ſo wird, wenn außer dem Gewichte des Waſſers keine andern Urſachen hinzukommen, keine Bewegung derſelben entſtehen können, weil alle Waſſertheilchen auf der Oberfläche und in jeder Tiefe gleich ſtark nach allen Seiten preſſen. Iſt hingegen der Waſſerſpiegel gegen den Horizont geneigt, ſo erhalten ſämmtliche Waſſertheilchen im Flußbette nach derjenigen Richtung, wohin die Oberfläche des Waſſers ihren Abhang hat, einen ſtärkern Druck, als nach jeder andern Seite; es muß daher Bewegung nach derjenigen Richtung entſtehen, wo der Druck am geringſten iſt. Auch muß dieſe Bewegung nicht allein auf der Oberfläche, ſondern auch in jeder Tiefe ſtattfinden, weil die Differenzen der hydroſtatiſchen Preſſungen in einerlei Verticale für alle Tiefen gleich groß ſind.

Da die Bewegung des Waſſers von deſſen Schwere herrührt, ſo muß ſie, wie der freie Fall ſchwerer Körper, eine beſchleunigte ſeyn. Nach den Geſetzen der Beſchleunigung der Kräfte folgt hieraus, daß das auf einem geneigten Flußbette fortſtrömende Waſſer, wenn ſein Lauf durch

nichts gehindert wird, in jedem folgenden Zeittheilchen eine ſchnellere Bewegung erhalten muß, je länger die Bewegung dauert. Allein, wenn gleich alle Flüſſe von ihrer Quelle ab bis zum Meere Gefälle haben, ſo findet man doch größtentheils, daß ihre Geſchwindigkeit nach dem Meere abnimmt; es muß daher ein Widerſtand vorhanden ſeyn, welcher die Bewegung des Waſſers aufhält und dadurch die Geſchwindigkeit deſſelben vermindert. Wenn auch mehrere Schriftſteller ſich bemüht haben, mittelſt angeſtellter Verſuche, die Geſetze, welche zu dieſer Verminderung der Geſchwindigkeit beitragen, zu beſtimmen, ſo iſt doch kein allgemein anwendbares Geſetz, welches die Geſchwindigkeit des Waſſers in Flußbetten unter allen Umſtänden genau angiebt, bis jetzt gefunden, und das Auffinden deſſelben iſt deshalb um ſo ſchwieriger, weil es nicht angeht, die mancherlei vielleicht noch unbekannten Hinderniſſe der Bewegung in Rechnung zu bringen.

§. 142. Die Urſachen, welche die Bewegung des Waſſers in Flußbetten verzögern, ſind theils beſtändige, theils zufällige Urſachen.

Die beſtändige Urſache iſt die Adhäſion, vermöge welcher die Waſſertheilchen mit dem Flußbette zuſammenhängen und bei der Bewegung theils von den Wänden, theils von denjenigen Waſſertheilchen abgeriſſen werden, welche mit den Wänden ſtärker zuſammenhängen, als unter einander, oder wo die Adhäſion größer iſt, als die Cohäſion. Auch muß durch das Abprallen der Waſſertheile von den Wänden, durch die dadurch verurſachte innere Bewegung und vielleicht durch andere noch unbekannte Urſachen eine Verzögerung entſtehen. Die vermöge der Adhäſionskraft hervorgebrachte Verzögerung kann nur allmälig im Verhältniß der Entfernung vom Ufer abnehmen, und endlich ganz verſchwinden, wenn die Flüſſe eine gewiſſe Größe haben. Bei übrigens gleichen Umſtänden muß daher der kleinere Fluß mehr verzögert werden, als der größere, weil in dieſem eine größere Waſſermaſſe dem Geſetze der Schwere freier

Digitized by Google

und ungehinderter folgen kann. In großen und mächtigen Strömen wird die verzögernde Wirkung des Flußbettes im Verhältnisse zum Raume, welcher von dieser befreit bleibt, beinahe unmerklich werden. Daher fließt das Wasser in kleinen Gräben bei einem sehr großen Falle von einigen Hunderttheilen ihrer Länge, oft mit geringerer Geschwindigkeit, als Flüsse von mittlerer Größe bei einem Falle von nur eben so vielen Tausendtheilen.

Die zufälligen Ursachen der Verzögerung des fließenden Wassers können herrühren von den auf dem Wasser ruhenden Luftschichten, wenn die Luft dem Laufe des Wassers entgegen strömt, von den Unebenheiten des Flußbettes und den dadurch verursachten kleinen Wirbeln, die sich durch einen ansehnlichen Theil der ganzen Wassermasse fortpflanzen, von den Wassergewächsen, welche eine Erhöhung des Wasserspiegels, jedoch nur von einigen wenigen Zollen, verursachen, dagegen aber, wenn sie herausgenommen werden, eine bedeutende Senkung der Oberfläche des Wassers und eine größere Geschwindigkeit desselben bewirken; von den an seichten und krummen Ufern entstehenden Widerströmen, welche der Bewegung des Flusses entgegen wirken.

§. 143. Wenn durch alle Querprofile in einem Flußbette gleiche Wassermengen fließen, so läßt sich mit Buat annehmen,

1) daß die beschleunigende Kraft, welche durch den Abhang der Oberfläche des Wassers hervorgebracht wird, dem Widerstande im Flußbette gleichkommt;

2) je größer die Profilwände sind, desto mehr Kraft ist zur Bewegung des Wassers erforderlich; denn die Adhäsionskraft ist größer, je größer der Umfang eines Querprofils ist, mithin muß der Widerstand größer seyn, je flacher das Flußbett ist.

Digitized by Google

3) Die Widerstände gegen die Bewegung des Wassers verhalten sich wie die Quadrate der Geschwindigkeiten; denn der Widerstand wächst mit den Quadraten der Geschwindigkeiten, weil doppelt so viele Wassertheilchen in halber Zeit losgerissen werden.

Sind in zwei Querschnitten die Wände und die Geschwindigkeiten des Wassers gleich, aber ihr Inhalt verschieden, so würde bei doppelt so großem Inhalte der Widerstand unter doppelt so viele materielle Theile vertheilt, also für jedes einzelne Theilchen nur halb so groß seyn; daher

4) verhalten sich die Widerstände in solchen zwei Querschnitten umgekehrt, wie die Inhalte der Querschnitte.

Aus diesen 4 Sätzen folgt endlich:

5) sind die Flußbetten zwar verschieden, aber die Bewegung des Wassers gleichförmig, so verhalten sich die Widerstände, welche die Bewegung des Wassers verzögern,
   a) wie die Wände der Profile,
   b) wie die Quadrate der Geschwindigkeiten, und
   c) umgekehrt, wie die Flächeninhalte der Querschnitte.

§. 144. Da die Schwere jeden bewegten Körper, dessen Richtung gegen den Horizont geneigt ist, beschleunigt, so müßte auch die Bewegung des Wassers eine beschleunigte seyn; allein unter der Bedingung, daß das Wasser sich in einem Flußbette gleichförmig bewegt, wird die durch die Schwere verursachte Beschleunigung vom Widerstande aufgehoben. Da nun nach (1) des vorhergehenden §. jene diesem gleich ist, so folgt hieraus, daß die Bewegung des Wassers, wie bei jeder trägen Masse, gleichförmig bleibt.

Sind daher für zwei verschieden fließende Gewässer bei

Digitized by Google

unveränderter Neigung ihrer Flußbetten und gleichen Querschnitten:

C und c ihre mittlern Geschwindigkeiten,
G und g ihre Beschleunigungen,
W und w ihre Widerstände,
L und l die ihnen zugehörigen Längen oder Entfernungen auf der Oberfläche des Wassers,
P und p die Wände oder Umfänge ihrer Querschnitte,
S und s die Inhalte dieser Profile,

so ist nach der Lehre von der schiefen Ebene bekannt, daß die auf derselben von der Schwere erlangten Beschleunigungen zweier Massen sich verhalten, wie die Quotienten, welche aus den Höhen der schiefen Ebenen, dividirt durch ihre Längen, entstehen. — Bezeichnen nun in dem vorliegenden Falle H und h die Höhen, so wie L und l die Längen der schiefen Ebenen, so verhält sich demnach

$$G : g = \frac{H}{L} : \frac{h}{l}$$

Weil aber nach (1) des vorhergehenden §. die beschleunigenden Kräfte den Widerständen gleich sind, so verhalten sich

$$W : w = \frac{H}{L} : \frac{h}{l}$$

Nach dem vorhergehenden §. verhalten sich die Widerstände, wie die Wände der Profile Pp, wie die Quadrate der Geschwindigkeiten $C^2 c^2$ und umgekehrt wie die Inhalte der Querschnitte S, s. Daher

$$W : w = \frac{PC^2}{S} : \frac{pc^2}{s}, \text{ oder}$$

$$\frac{H}{L} : \frac{h}{l} = \frac{PC^2}{S} : \frac{pc^2}{s} \text{ folglich}$$

$$C^2 = \frac{l.c^2 p}{hs} \cdot \frac{HS}{LP} \text{ und}$$

$$C = c\sqrt{\frac{lp}{hs}}.\sqrt{\frac{HS}{LP}}$$

Nach den Beobachtungen des Herrn Buat ist der Werth von

$c\sqrt{\frac{lp}{hs}} = 90{,}9$; daher die mittlere Geschwindigkeit

$$(A)\quad C = 90{,}9\sqrt{\frac{HS}{LP}} \text{ in rheinl. Fuß.}$$

Da der Flächeninhalt des Querprofils eines Flusses mit der Länge der ausfließenden Wassermenge oder mit deren Geschwindigkeit multiplicirt, die Wassermenge bestimmt, so beträgt die Wassermenge gleich M, welche in jeder Secunde durch das Querprofil eines Flusses fließt,

$M = CS$, folglich ist

$$(B)\quad M = 90{,}9\,.\,S\sqrt{\frac{HS}{LP}}$$

Wenn in einem mit einer einfüßigen Dossirung versehenen Abzugsgraben, dessen Profil ein Trapezium ist, worin die Breite der Sohle 6 Fuß und die Tiefe 3 Fuß beträgt, die Geschwindigkeit des Wassers in einer Secunde ein Fuß seyn soll, so erhält man das Gefälle $= H$ auf 100 Ruthen à 12 Fuß, auf folgende Art. In Fig. 130 ist demnach

$AE = EB = 3$ Fuß, folglich

$AB = \sqrt{2\,(3)^2} = 3\sqrt{2} = 4{,}24$, ferner

$AD = (6 + 2\,.\,3) = 12$, folglich

$P = BC + AB + CD = (6 + 2\,.\,4{,}24) = 14{,}48$ und

$$S = \left(\frac{AD + DC}{2}\right).AE = \left(\frac{12 + 6}{2}\right)3 = 27.$$

Endlich ist $L = 100 \times 12 = 1200$ Fuß.

Nach (A) ist $H = \frac{C^2PL}{8262{,}8\,S} = 0{,}000{,}121\,\frac{C^2PL}{S} =$

$$\frac{0{,}000{,}121\,.\,1^2\,.\,14{,}48\,.\,1200}{27} = 0{,}0779 \text{ Fuß} = \tfrac{1}{16}\text{ Zoll.}$$

Digitized by Google

Unter eben den Vorausſetzungen erhält man für einen zwei Fuß tiefen Graben

$$H = \frac{0{,}000{,}121 . 1^2 . 11 . 7{,}1200}{16} = 0{,}106 \text{ Fuß} = 1{,}273 \text{oll.}$$

Daher, wenn in zwei gleichen Abzugsgräben das Waſſer in dem einen niedriger, als in dem andern ſteht, der erſtere ein größeres Gefälle nöthig hat, als der letztere, um das Waſſer mit eben der Geſchwindigkeit abzuführen. Auch läßt ſich hieraus erklären, weshalb bei einem Abzugsgraben, wenn in demſelben bei ungeändertem Gefälle das Waſſer höher ſteht, derſelbe auch beſſer zieht, oder das Waſſer ſich in ihm ſchneller bewegt.

Anmerk. Langsdorff*) hat die Frage: „Was für einen aliquoten Theil der Länge muß man dem Abhange des Bodens (dem Gefälle) geben, um bei einem beſtimmten Profile des Kanals eine verlangte Waſſermenge in einer Secunde abzuleiten?“ auf folgende Art gelöſt.

Wenn ein Kanal mit einer Geſchwindigkeit von 3′ in jeder Secunde 19 Kubikfuß Waſſer abführen ſoll, ſo dividire man die verlangte Abflußmenge mit der Geſchwindigkeit und man erhält alsdann den erforderlichen Waſſerquerſchnitt, folglich $\frac{19}{3} = 6\frac{1}{3}$ Quadratfuß. — Will man nun das Waſſer z. B. $1\frac{1}{3}$ Fuß tief fortfließen laſſen, ſo dividirt man die gefundene Fläche mit $1\frac{1}{3}$, hiermit findet man die mittlere Breite, folglich $\frac{6\frac{1}{3}}{1\frac{1}{3}} = 4\frac{3}{4}$ Fuß. Dieſe letztere Größe vergrößert man zur Sicherheit noch um den 12ten Theil, mithin iſt die mittlere Breite $= 5\frac{1}{2}$ Fuß. — Demnach wird das Gefälle des Bodens auf 100 Fuß Länge gefunden, wenn das Quadrat der Zahl, welche die Abflußmenge ausdrückt, mit dem Umfange, welcher hier gleich $8\frac{5}{6}$ Fuß geſetzt wird, multiplicirt, und das zwölfmal genom-

*) Scheyer's praktiſch-ökonomiſche Waſſerbaukunſt mit Anmerkungen von Langsdorff, Leipzig 1820, 1ſter Th. Cap. 6. §. 51. S. 75.

mene Product mit dem Producte, welches aus dem Kubus des Wasserquerschnittes, mit der Zahl 86 multiplicirt, entsteht, dividirt oder

$$\frac{(19^2 \times 8\frac{5}{6})\ 12}{(6\frac{1}{4})\ 3.\ 86} = 1\frac{3}{4}\ \text{Zoll.}$$

§. 145. Je größer der Umfang eines Profiles bei einerlei Flächeninhalt ist, desto langsamer fließt das Wasser, weil es mehr Widerstand zu überwinden hat. Daher die Geschwindigkeit der Flüsse bei einem niedrigen Wasserstande sich vermindert, und kleine Bäche, die mit größern Flüssen einerlei Gefälle haben, öfters weit langsamer fließen. In großen und mächtigen Strömen ist die verzögernde Einwirkung des Flußbettes in seinem Verhältnisse zum Raume, welcher von dieser befreit bleibt, beinahe unmerklich, dagegen äußert dieselbe in kleinen Flüssen einen merkbaren Einfluß; daher, wenn alle übrigen Umstände in beiden Flüssen gleich sind, der kleinere Fluß mehr verzögert wird, als der größere; denn es kann in diesem eine größere Wassermasse dem Gesetze der Schwere freier und ungehinderter folgen.

Da nun unter allen Flächen die Kreisfläche und das halbe Quadrat den kleinsten Umfang haben, da die Oberfläche des Wassers bei einem Profil als Umfang oder Wand nicht in Rechnung kommt, so würde zur Abführung einer bestimmten Wassermenge die schicklichste Gestalt des Umfanges von einem Querprofile die eines halben Kreises, oder, als viereckige Figur betrachtet, die eines Quadrats seyn.

Unter den trapezförmigen Profilen hat das halbe Sechseck den kleinsten Umfang; weil aber die Seitendossirungen desselben zu steil sind, so wird solches in der Ausübung nicht leicht angewandt werden. Um aber ein trapezförmiges Profil anzugeben, welches hinlängliche Dossirung in gewöhnlicher Erde und dabei den möglichst kleinsten Umfang hat, denke man sich den gegebenen Flächeninhalt des Profils als den eines Rectangels GEFH, Fig. 131, wovon die Grundlinie EF doppelt so groß als dessen Höhe EG ist; man theile EF in 6 gleiche Theile und nehme für das gleich hohe trapezförmige Profil ABCD zur Sohle BC = $\frac{2}{6}$

und zur oberen Weite AD = $\frac{1}{6}$, so ist die Fläche ABCD = GEFH und die Grundlinie der Uferböschung = $\frac{4}{7}$ von der Höhe.

§. 146. Nach den angestellten Beobachtungen fließt das Wasser wegen der Adhäsion in der Mitte des Wasserspiegels über der größten Tiefe weit schneller, als an den Wänden des Flußbettes; daher der Wasserspiegel gegen die Mitte höher, als an den Seiten ist, weil das schneller fließende Wasser weniger Seitendruck, als das langsam fließende äußert.

Brüning *), Ximenes **) und Woltmann ***) haben durch ihre angestellten Beobachtungen über die obere und untere Geschwindigkeit des fließenden Wassers gefunden, daß die schon längst von Pitot****) aus seinen Beobachtungen auf der Seine gezogenen Resultate mit den ihrigen übereinstimmen. Wenn gleich auch kein allgemeines Gesetz zur Bestimmung der Abnahme der Geschwindigkeit aus den angestellten Beobachtungen sich ableiten läßt, so geht doch so viel daraus hervor, daß die Geschwindigkeiten von oben nach unten zu abnehmen, und daß für einerlei Verticallinie, bei größern Geschwindigkeiten an der Oberfläche, die Abnahmen bei einerlei Tiefen größer sind, als bei kleinern Geschwindigkeiten.

---

*) Brünings Abhandlung über die Geschwindigkeit des fließenden Wassers u. s. w. aus dem Holländischen von Krönce, Frankf. a. M. 1798.

**) Ximenes, Nuove sperienze idrauliche fatte ne' Canali e ne' Fiumi per verificare le principali leggi e fenomini delle acque correnti, Siena. 1780.

***) Woltmanns Beiträge zur hydraulischen Architektur, 3ter Bd. Göttingen 1794. S. 295.

****) Description d'une machine pour mesurer la vitesse des eaux courantes. Mém. de l'acad. roy. des sciences, 1732, Edit. Batav. p. 504.

Digitized by Google

Eytelwein (im angeführten Werke 7tes Cap. S. 175) hat daraus gefolgert, daß sich die Geschwindigkeit des Wassers auf jeden Fuß Tiefe um $\frac{8}{1000}$ Theil der Geschwindigkeit seiner obern Fläche vermindert. In h Fuß Tiefe würde demnach die Geschwindigkeit des Wassers $= 0{,}008\ C.h$, und daher am Grundbette $C - 0{,}008\ C.h$ seyn. Die mittlere Geschwindigkeit C' wird demnach aus der obern und untern Geschwindigkeit gefunden, wenn man beide zusammengelegte Größen halbirt. Folglich

$$C' = C + \frac{(C - 0{,}008\ .\ Ch)}{2} = C\,(1 - 0{,}004\,h),$$

wo sich alle Größen auf rheinl. Fuß beziehen.

Die meisten französischen Ingenieurs halten die mittlere Geschwindigkeit eines Flusses beiläufig für $\frac{4}{5}$ der mittlern Geschwindigkeit an der Oberfläche.

Von den hydrometrischen Messungen.

§. 147. Ehe man praktische Entwürfe zur Verbesserung eines Flusses oder zur Ausführung eines Bauwerkes von irgend einer Art an einem Flusse machen kann, ist eine hydrotechnische Karte über den in Frage stehenden Flußbezirk erforderlich. Eine solche Karte muß nicht nur das getreue Bild des Flusses selbst, sondern auch das seiner Umgebung, so weit sie vom höchsten Wasserstande erreicht wird, darstellen. Von der geometrischen Aufnahme und Verzeichnung des Grundrisses ist Folgendes zu bemerken:

1) den Maaßstab muß man so groß wählen, daß auch kleine Gegenstände deutlich dargestellt werden können;
2) alle, sowohl natürliche als künstliche Gegenstände, welche in wesentlicher Verbindung mit den Eigenschaften und Wirkungen des Flusses sind, als Sandbänke, Inseln, Untiefen, Bruchufer, Altwasser, Bauwerke oder Ruinen derselben, Dämme, Schleusen u. s. w. müssen mit der größten Sorgfalt bestimmt und nach ihrer Figur,

Digitized by Google

Größe und nach ihrem Profil auf dem Plane angelegt werden.

Die Begränzungslinien der Strombahn müssen nach einem bestimmten Wasserstande, oder nach einer einmal angenommenen Wasserhöhe, und zwar nach dem mittlern Wasserstande verzeichnet, auch muß die Stromrinne und der Stromstrich mit ihren Wassertiefen angegeben werden. Bei einem Schart oder abbrüchigen Ufer aber müssen die Krümmen und die steilen Abdachungen durch Striche angedeutet und längs den hohen Ufern die Begränzungslinien in Hinsicht des angenommenen Wasserstandes mit einem Striche bezeichnet werden. Alle flach abgehenden Kiesbunde und Inseln, die über dem angenommenen Normalwasserstande hervorragen, werden da mit Contouren bezeichnet, wo der Wasserstand sie streicht. — Wenn die Aufnahme eines Flusses bei einem andern Wasserstande, als dem angenommenen, vorgenommen wird, so muß man sie auf diesen zurückführen. Dies geschieht mittelst Wasserhöhenmaaße (Pegel), an welchen die Flußhöhen während der Arbeit der Aufnahme einer Flußkarte täglich beobachtet werden müssen. Diese in Fuß und Zolle eingetheilten Wasserhöhenmaaße, welche von unten aufwärts gezählt werden, so daß der Anfangs- oder Nullpunkt auf den bekannten niedrigsten Wasserstand gestellt wird, werden an solchen Stellen errichtet, wo der Wasserstand bei jeder Wasserhöhe mit Bequemlichkeit beobachtet werden kann, und wo das Wasser ruhig genug ist, um die erforderliche Genauigkeit im Beobachten nicht zu erschweren.

Um mit Hülfe der Karte jede Zu- oder Abnahme der converen Ufer, der Sandbänke, so wie jede Veränderung mit der Breite des Flusses aufzufinden, müssen längs den Ufern feste Punkte abgesteckt werden, wenn keine natürlichen, als Bäume u. s. w. zu finden sind, damit, wenn, von einem nach dem andern eine Horizontallinie gezogen wird, diese die bestimmte Begränzungslinie der Strombahn, der

Digitized by Google

Sandbänke oder auch der Ufer, deren Zu- und Abnahme in der Zukunft in Erfahrung gebracht werden soll, schneidet.

Nachweisungen über den früheren Zustand des Flusses und der mit ihm vorgegangenen Veränderungen können sehr nützlich seyn, daher sie auf der Karte bemerkt werden müssen.

§. 148. Um die Richtung der Stromrinne zu bestimmen, und um die Wassermasse, welche der Fluß bei einer gewissen Wasserhöhe fortwälzt, zu erforschen, werden Tiefenmessungen vorgenommen. Dazu bedient man sich einer von unten nach oben in Fuß und Zolle eingetheilten Stange, deren unteres Ende mit so viel Eisen beschlagen werden muß, daß sie etwas schwerer als das Wasser wird, damit sie leichter und bequemer in senkrechter Richtung auf den Boden gehalten werden kann. Der Beschlag ist unten platt einzurichten, mit einem etwas ausgezackten und umgebogenen Rand, der mit zwei Bügeln an der Stange befestigt wird. Unter dem Beschlage muß ein eiserner Ring angebracht werden, an dem ein Seil befestigt wird, um die Stange in senkrechter Richtung zu halten und sie leichter heben zu können. Kein Senkblei darf man zum Messen der Tiefen (Peilen) nehmen, denn der Faden desselben biegt sich nach dem Strome und giebt alle Tiefen zu groß an.

Für die Aufnahme eines Längenprofils müssen mehrere Querprofile gemessen werden. Man sucht zu diesem Zwecke, in nicht zu großem Abstande von einander, die tiefste Stelle im Querprofile des Flusses auf, mißt ihre Tiefe, und bemerkt sie auf der Karte, nachdem man zugleich ihre Entfernung vom Ufer gemessen hat. Dieses kann durch ein in Ruthen und Fuß eingetheiltes, in Oel und Thran gesottenes und quer über den Fluß gespanntes Seil, oder durch den von Reichenbach erfundenen Distanzenmesser, mit welchem man alle Entfernungen von dem Standpunkte an einer aufgestellten Meßstange mit großer Genauigkeit messen kann, bewerkstelligt werden. In Ermangelung dessen, oder wenn der Fluß sehr breit ist, kann man sich folgender Verfahrungsweise bedienen.

Digitized by Google

Man steckt zuerst eine Linie AC Fig. 132 senkrecht auf der Flußbahn ab, deren Länge in eine gewisse Anzahl von Messungspunkten einzutheilen ist. Auf dieser stecke man längs dem Ufer von dem Punkte A an senkrecht die Linie AD ab, und theile sie in so viele gleiche Theile, als auf der Linie AC Messungspunkte bestimmt sind. Man verlängere CA bis in B, und stecke die Linie BE parallel mit AD ab. Auf dieser Linie werden alle Theilungspunkte in den nämlichen gleichen Abständen, wie auf den Linien AC und AD, vom Anfangspunkte I an, abgesteckt. Der Abstand BI wird den beiden Längen, AB + A1 zusammengenommen, gleich angenommen, wodurch der Winkel A11 = 45° = A22′ = A33′ u. s. w. Die Linien AD und BE müssen so gewählt werden, daß man die in allen Theilungspunkten senkrecht gesteckten Stangen vom Flusse aus am besten sehen kann. Hat der Fluß nur eine geringe Geschwindigkeit, so kann man in einem Nachen auf der Linie AC nach der Richtung AB fortrudern, und die Tiefe dort messen, wo die Stange IV und 4, III und 3 u. s. w. sich decken. Ist der Strom sehr stark, so werfe man nach Röder an einem einige 100 Fuß langen Seile, das auf einem kleinen mit einer Gabel versehenen Fahrzeuge, oder auf einer leeren Tonne ruht, einen Anker in F, wenn der Fluß zu breit ist, nach und nach an mehreren Punkten in der Breite desselben, und lasse das Boot, das den Beobachter trägt, längs der Linie AC hintreiben (gieren), so wird man ebenfalls die Tiefe auf oben beschriebene Art messen können.

Die Höhe des Wasserstandes, bei welcher die Tiefe gemessen wird, muß auf der Karte bemerkt und auf den Nullpunkt des Pegels reducirt werden. Untiefen u. dgl., welche höher als der Nullpunkt des Pegels liegen, werden auf der Karte mit dem Zeichen +, liegen sie unter jenem Wasserstande, mit dem Zeichen — bemerkt.

§. 149. Bei der Tiefenmessung müssen zugleich die Stoffe, welche der Fluß mit sich fortführt, und welche man

Digitized by Google

Flußmaterial nennt, unterſucht werden; denn dieſe Stoffe haben einen weſentlichen Einfluß auf die Beſchaffenheit und auf die Wirkungen des Fluſſes. Nicht nur die Art des Flußmaterials, ſondern auch die Menge deſſelben, ſind dem Hydrotekten ſehr wichtig, wenn er über die Ausführbarkeit gemachter Bauentwürfe richtig urtheilen ſoll. Große Flußkieſel machen Flußbauten entweder ganz unausführbar, oder erfordern eine andere Bauart als kleinere Flußgeſchiebe und Sand. Je mehr Material die Flüſſe mit ſich fortführen, deſto ſchneller verändern ſie ihre Flußbetten und bewirken Verlandungen.

§. 150. Die geſchwinderen oder langſameren Bewegungen des fließenden Waſſers rühren von der mehreren oder wenigeren Abweichung ſeiner Oberfläche von der wahren Horizontallinie her; dieſe Linie iſt ein Theil desjenigen Bogens, welcher zum Radius den Radius der Erde und zum Mittelpunkt den Mittelpunkt der Erde hat. Die Abweichung der Oberfläche eines Stroms von dieſer Cirkellinie beſtimmt das Gefälle, welches alſo die Kathete einer ſchiefliegenden Fläche vorſtellt. Je größer das Gefälle iſt, um ſo ſchneller ſtrömt der Fluß, wenn nämlich das Gefälle gleich vertheilt iſt und die Ufer parallel ſind. Um das Gefälle oder den verticalen Höhenunterſchied zweier in einer gewiſſen Entfernung auf der Oberfläche des Fluſſes beſtimmten Punkte zu beſtimmen, muß man die Länge der abweichenden Linie und nachher die Abweichung von der Horizontallinie ſelbſt meſſen.

Es ſey a m b c Fig. 133 ein Sector der Erdkugel, ſo iſt die Linie a b c die wahre Horizontallinie, d b e die ſcheinbare oder aſtronomiſche Horizontallinie; ferner ſtelle a f und h g einen Strom im Profile vor, der um c g von der aus dem Mittelpunkte m gezogenen wahren Horizontallinie a b c abweicht; nennt man die Länge eines Flußbezirkes a g = l, deſſen ganzes Gefälle c g = g, ſo wird

$$cg : ag = g : l$$

Da der Bogen a c Fig. 134 immer ſehr klein iſt, und

für eine Meile nur 4 Minuten beträgt, folglich beim Nivelliren sehr klein seyn muß, so ist es erlaubt ac = ac = ab; ce = cb; ob = ao = 2r anzunehmen. Nun ist:

$$ab^2 = ob \,.\, cb \text{ folglich}$$

$$cb = \frac{ab^2}{ob} \text{ oder}$$

$$ce = \frac{ac^2}{ao} = \frac{l^2}{2r} \text{ das heißt}$$

die Abweichung der scheinbaren Horizontallinie von der wahren wird gefunden, wenn man das Quadrat der Distanz durch den Durchmesser der Erde theilt.

Aus der Lehre von der Strahlenbrechung folgt, daß das Ziel e, welches man in ae zu sehen glaubt und wirklich in dieser Direction sieht, nicht in e, sondern etwas tiefer erscheint, weil der Sehestrahl in der Atmosphäre nach einer krummen Linie unterwärts gebeugt wird.

Man setze no Fig. 134 sey der Halbmesser des Bogens an, so ist man wegen der Unbeträchtlichkeit der Bogen ac und an berechtigt, sie als Kreisbogen anzunehmen; ferner ziehe man die Sehne an und ac, so ist, da ae als die scheinbare Horizontallinie senkrecht auf am ist, der Winkel eac = ½ amc und ean = ½ aon.

Da der Winkel amc beim Nivelliren sehr klein wird, so kann man annehmen, die Sehne ac stehe senkrecht auf mc und die Linie ec und en sind die Tangenten der Winkel eac und ean proportional; folglich ist

$$ec : en = eac : ean = \tfrac{1}{2} amc : \tfrac{1}{2} aon = ao : am$$

hieraus erhält man

$$en = \frac{am}{ao} \,.\, ec \text{ oder für ec seinen Werth}$$

$$\frac{l^2}{2r} = \frac{l^2}{2am} \text{ substituirt, giebt}$$

$$en = \frac{l^2}{2ao} \text{ und } ao = \frac{2en}{l^2}$$

Um en also zu erfahren, wäre es nur nöthig, ao zu

kennen. Lambert*) hat nach mehreren Beobachtungen den mittlern Werth von ao gleich 7am gefunden und folglich wäre auch en = ¼ ec. Die Neigung der Oberfläche des Wassers oder das Gefälle zu finden, lehrt die Nivellirkunst. Das Instrument, mit welchem das Nivellement am vortheilhaftesten und am bequemsten geschehen kann, ist von dem Hofmechanikus Schröder in Gotha angegeben und verfertigt. Die Theorie, auf welche der Gebrauch dieses Instruments sich gründet, ist von Wiebeking in seiner allgemeinen Wasserbaukunde, 1ster Bd. S. 100 — 123, beschrieben; auch hat G. C. Müller in seiner praktischen Abhandlung vom Nivelliren oder Wasserwägen, Göttingen 1799. S. 107 — 136 diese Wasserwage bekannt gemacht.

Anmerk. Bei Anlegung der Wasserabzugsgraben kann man sich einfacherer Methoden bedienen, um das Gefälle zu bestimmen. J. G. Scheyer hat in seiner praktischen ökonomischen Wasserbaukunst (1ster Th. 1stes Cap.) drei verschiedene Abwägungsmethoden angegeben.

§. 151. So wie bei Jedem, der sich dem Wasserbau widmet, die erforderliche Fertigkeit im Nivelliren vorauszusetzen ist, so kann hier um so mehr die Lehre von der Nivellirkunst übergangen werden. Nur ist zu bemerken, daß man, um eine leichte und bequeme Uebersicht der Erhebung und Neigung einer Gegend zu erhalten, die relative Lage der erforderlichen Punkte unter dem höchsten Punkte der Gegend, als dem Anfangspunkte auf dem Plane entweder unmittelbar in ihrer Höhe in Füßen, Zollen und Decimaltheilen von Zollen angiebt, oder nur mit fortlaufenden Nummern bezeichnet, die sich auf eine Tabelle beziehen, in welche jene Höhen eingetragen sind.

§. 152. Da von dem Mangel der Normalbreite der Flüsse die meisten Beschädigungen, welche von den Flüssen

*) Propriétés remarquables de la route de la lumière par les airs und in seinen Beiträgen zu Picard's Abhandlung vom Wasserwägen.

Digitized by Google

hervorgebracht werden, entstehen, so muß man vorzüglich die Normalbreite, sowie auch die Normaltiefe eines Flusses auf dem Plane angeben. Diese findet man, wenn man an mehreren Stellen, wo der Fluß zwischen unbeschädigten Ufern in ziemlich gerader Richtung ohne Untiefen, Sandbänke und Inseln fließt, und keine merkliche Verminderung der Wassermasse, sowie auch keine bedeutende Abweichung von der Normalgeschwindigkeit stattfindet, seine Breite und Tiefe mißt, und aus diesen Messungen das arithmetische Mittel berechnet.

§. 153. Der Begriff von Geschwindigkeit entsteht aus der Vergleichung der Zeit und des in derselben durchlaufenen Raumes. Das Zeitmaaß ist willkürlich. In der Hydrometrie ist es gewöhnlich eine Secunde, und wenn darin das Wasser eines Flusses z. B. 4 Fuß durchläuft, so sagt man, die Geschwindigkeit des Wassers betrage 4 Fuß. Von der Größe der Geschwindigkeit hängt das Vermögen oder die Wassermenge des Flusses und die Gewalt der Eisgänge ab, und nach Maaßgabe der Geschwindigkeit und der Eisgänge werden Bauwerke, als Uferbaue, Schleusen, Deiche u. s. w. zerstört. Ueberhaupt äußert die Geschwindigkeit eines Flusses einen großen Einfluß auf alle Wirkungen desselben. Es ist daher von der äußersten Wichtigkeit, die Wassermenge kennen zu lernen, welche ein Fluß in jeder Secunde abführt.

Die Erfahrung lehrt, daß die Flüsse bei ihrem gewöhnlichen Wasserstande in denjenigen Stellen ihrer Oberfläche, worunter sich die Stromrinne befindet, einen schnellern Lauf haben, als da, wo der Fluß seichter ist, oder als näher am Ufer. Auch ist in einer und derselben Perpendiculare die Geschwindigkeit in jedem Punkte von der Oberfläche nach dem Boden zu verschieden; daher man die mittlere Geschwindigkeit kennen muß, wenn man die Wassermenge, welche durch irgend ein auf die Richtung des Flusses senkrechtes Querprofil in einer Secunde vorüberfließt, berechnen will. Die Instrumente, welche zu den Geschwindigkeitsmes-

Digitized by Google

sungen zum Behufe des Flußbaues gebraucht werden sollen, müssen daher eine solche Geschwindigkeit anzugeben im Stande seyn. Es sind deren verschiedene erfunden worden, um die Geschwindigkeit der Flüsse zu messen, und man sucht noch immer einfache Instrumente anzugeben, mit welchen man diese mehr oder weniger genau finden kann. Hier sollen einige der einfachsten, deren Gebrauch leicht ist, und welche ihrem Zwecke vollkommen entsprechen, beschrieben, die übrigen aber nur genannt und auf die Werke, in welchen sie beschrieben sind, hingewiesen werden.

§. 154. Um die Geschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche zu messen, kann man sich jedes specifisch leichteren Körpers als Wasser bedienen, daher auch Mariotte, im Traité du mouvement des eaux, Paris 1686 III. Part IV. Disc. dazu schwimmende Körper vorschlägt.

Nach Langsdorff *) lasse man einen etwa $2\frac{1}{2}$ Zoll dicken Stab von Buchenholz abdrehen, abrunden, oben und unten mit einem etwa $\frac{1}{4}$ Zoll dicken und 6 oder mehrere Zoll langen eisernen und messingenen Zapfen mit einem Gewinde und einer Mutter, um noch hölzerne Scheiben zu 6—8—10 Zoll im Durchmesser anlegen und festschrauben zu können. Am untern Ende wird zugleich eine eiserne Scheibe angeschraubt, wie Fig. 135 zeigt. — Dieser Stab muß beinahe bis auf den Grund des Flusses reichen, und aufrecht darin schwimmen. Nach Pechmann (S. seine prakt. Anleitung zum Flußbau, München 1825 1 Bd., 2ter Abschnitt S. 43.) giebt dieser Stab nicht vollkommen genau die mittlere Geschwindigkeit, weil die beiden Enden des Stabes dem Wasser eine größere Oberfläche darbieten, als die Mitte desselben. Er schlägt daher vor, das ganze Werkzeug in einen vollkommen cylindrischen Stab zu verwandeln, dessen oberes gleich dickes Ende aus Kork oder aus einer hohlen Röhre, und dessen unteres Ende aus einer eben so dicken

*) Scheyer, Wasserbaukunst 1ster Thl. 6 Cap. S. 67.

Blechröhre bestehen, und mit Bleischrot von dem nöthigen Gewichte gefüllt werden kann. Diese Büchse muß so eingerichtet werden, daß sie losgeschraubt werden kann, um den Stab durch anzuschraubende Mittelstücke nach Bedarf verlängern zu können.

Das einfachste Werkzeug, um die Geschwindigkeit des Wassers zu messen, ist die Schwimmkugel, eine hohle Kugel von polirtem Messingblech und 10 bis 12 Zoll im Durchmesser. Diese Schwimmkugel erhält eine kleine Oeffnung, durch welche man Wasser hineinlassen und welche man mit einem Pfropf verschließen kann. Neben dieser Oeffnung wird sie mit einem kleinen Oehr versehen, um einen Draht daran befestigen zu können. Füllt man die Kugel mit so viel Wasser, daß sie so tief sinkt, daß nur ein kleiner Theil von ihr noch auf der Oberfläche sichtbar bleibt, so findet man die Geschwindigkeit der Oberfläche, bei kleinen und seichten Flüssen auch ziemlich genau die mittlere Geschwindigkeit. Füllt man sie ganz mit Wasser, und versenkt sie bis zu einer willkürlichen Tiefe unter die Oberfläche, indem man an das Oehr einen Draht mit einem Stücke Kork befestigt, der auf dem Wasser schwimmt, die Stelle der versenkten Kugel sichtbar macht, und diese durch die Länge des Drahtes in der verlangten Tiefe hält, so erhält man die Geschwindigkeit in der Tiefe des Flusses, in welcher die Kugel schwimmt, obwohl nicht vollkommen genau, weil der auf der Oberfläche schwimmende Kork nicht ganz ohne Einfluß auf die Bewegung der Kugel bleiben kann.

Um die Geschwindigkeit des fließenden Wassers zu finden, kann man auf nachfolgende Weise verfahren.

An der Gegend eines Flusses, der parallele Ufer und eine ziemlich gleichförmige Tiefe hat, steckt man in einer Weite von etwa 10 bis 18 Ruthen die Linie gh, Fig. 136, etwa 200 Fuß lang parallel mit dem Stromstriche am Ufer fi ab; dann verlängert man die Linien eg und dh von 5 bis 8 Ruthen, so daß lk ebenfalls 200 Fuß beträgt.

In g, h, k und l werden Stäbe eingesteckt, um dadurch,

wenn man hinter dem Pfahle k steht, anzugeben, wenn die schwimmende Kugel in die Richtung egk kommt. Eben dies gilt bei dhl.

Nunmehr wird der Schwimmer mittelst eines Kahns oben in a 5 Ruthen oberhalb ef ins Wasser gelegt. In kl stehen Beobachter, und beim Eintritte des Schwimmers in die Linie kge, wie hier in b, fängt man an, die Secunden zu zählen, und fährt damit fort, bis der zweite Beobachter in l ein Zeichen giebt, daß der Schwimmer in die Linie dhl, wie hier in c, eingetreten sey. Dieser Versuch wird mehreremal wiederholt.

Die verflossenen Zeitsecunden, in welchen der Schwimmer sich in gerader Linie bewegte, geben uns die Geschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche für jede Secunde durch eine leichte Rechnung. Beträgt die Zeit 50 Secunden, so ist die Gleichung

$$50 : 200 = 1 : \frac{200}{50,} = 4 \text{ Fuß}$$

für den Weg, den das Wasser in einer Secunde durchläuft. Dieser Weg heißt die Geschwindigkeit des Wassers.

Es muß bemerkt werden, daß wegen der Neigung der Oberfläche des Stroms der Schwimmer eine Beschleunigung erhält; in den meisten Fällen wird man aber hierauf nicht Rücksicht nehmen dürfen. Auch wird der Schwimmer von dem Stromfaden und den Ufern angezogen, daher man den Schwimmer in die Mitte des Flusses setzt. Ueberhaupt ist im Allgemeinen zu bemerken, daß, wenn man die Geschwindigkeit des Flusses erforschen will, man sie im Stromstriche messen muß, welcher sich beinahe immer über der Stromrinne befindet.

§. 155. Zur Bestimmung der Geschwindigkeit eines fließenden Wassers an der Oberfläche desselben bedient man sich noch ferner folgender zwei Instrumente:

1) Eines kleinen sehr beweglichen Rädchens in Gestalt der Straubenräder, dessen Schaufeln von sehr dünnem

Bleche in etwas schiefer Richtung in die Arme des Rades eingesetzt sind. Sein Durchmesser beträgt ungefähr 18 bis 24 Zoll, und an der stählernen Achse desselben ist eine Scheibe mit einer Schraube ohne Ende angebracht, die in ein kleines Rad von 30 Zähnen eingreift, so daß bei jeder Umdrehung des Schaufelrades ein Zahn des kleinen Rades fortgeschoben wird.

Beobachtet man nun die Anzahl der Umläufe mittelst eines Secundenpendels während einiger Minuten und nimmt dabei an, daß die Geschwindigkeit des Schwerpunktes der eingetauchten Schaufeln der Geschwindigkeit des Wassers gleich sey, so erhält man die Geschwindigkeit des Wassers in einer Secunde, wenn man die Peripherie des durch die Schwerpunkte der Schaufeln gelegten Kreises mit der Anzahl der Umdrehungen multiplicirt und das erhaltene Product durch die Anzahl der beobachteten Secunden dividirt. Je geringer die Reibung bei der Umdrehung des Rades ist, je genauer ist die gefundene Größe. In Leupold's Theatrum machinarum generale §. 512 ist dieses Instrument beschrieben.

2) Des Stromquadrantens, welcher sich unter allen Instrumenten zur Ausmessung der Geschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche vorzüglich empfiehlt. An dem Mittelpunkte desselben C, Fig. 137, ist ein mit Wachs bestrichener Faden mit einer elfenbeinernen Kugel, wenn die Geschwindigkeiten nicht 3 bis 4 Fuß übersteigen, in andern Fällen aber mit einer hohlen messingenen oder zinnernen Kugel befestigt, und um dem Quadranten die verticale Stellung zu geben, dient das kleine Loth C b, welches auf 0 Grad einspielen muß.

Gesetzt, daß das Gewicht der an dem Faden befestigten Kugel = q sey und der Faden C q durch die

Kraft des fließenden Wassers von der lothrechten Linie CA um den Winkel a abweiche, so findet man die Kraft, welche die Kugel forttreibt = q Tgt. a; denn wenn pq das lineare Gewicht der Kugel, und pr=po die Kraft des Wassers vorstellt, so verhält sich

$$pq : (po = qr) = 1 : \text{Tgt. a} \text{ oder}$$

$$q : po = 1 : \text{Tgt. a}$$

$$po = q \text{ Tgt. a}$$

Weil nun die Geschwindigkeit des Wassers dem Winkel a proportional ist und die Kräfte des stoßenden Wassers bei verschiedenen Geschwindigkeiten sich sehr nahe, wie die Quadrate derselben verhalten, so verhält sich, wenn a und a′ zwei verschiedene Winkel bezeichnen, und man für den Winkel a die Geschwindigkeit des Wassers = C setzt, und für den zweiten Winkel a′ die Geschwindigkeit = C′

$$C^2 : C'^2 = q \text{ Tgt a} : q \text{ Tgt a}' \text{ oder}$$

$$C : C' = \sqrt{\text{Tgt a}} : \sqrt{\text{Tgt a}'}$$

$$C' = C \sqrt{\frac{\text{Tgt a}'}{\text{Tgt a}}}$$

Ist demnach für eine bestimmte Kugel der Neigungswinkel a mit der dazu gehörigen Geschwindigkeit bekannt, so kann mittelst dieser Formel für jeden andern Neigungswinkel die dazu gehörige Geschwindigkeit gefunden werden.

Aus der Größe und dem Gewichte der Kugel die zu jedem Neigungswinkel gehörige Geschwindigkeit zu finden, darüber giebt Eytelwein in seinem Handbuche der Mechanik und Hydraulik Cap. 24. S. 394. §. 280 eine von ihm gefundene Formel, und ist demnach die Geschwindigkeit, wenn das Gewicht der Kugel in der Luft = Q, das Gewicht der Kugel im Wasser = q und dessen Radius = r gesetzt wird:

Digitized by Google

$$C' = 35{,}609 \sqrt{\left[\frac{q}{Q-q} \cdot r \cdot \mathrm{Tgt.}\, a\right]}$$

Mehrere Bemerkungen über dieses Instrument findet man in Eytelweins Abhandlung: „Versuche mit dem Stromquadranten" u. s. w., welche in der Sammlung, die Baukunst betreffend, Jahrg. 1799, 1ster Bd. S. 53 u. f. aufgeführt ist.

§. 156. Die Instrumente, mit welchen die Geschwindigkeit nicht blos in der Oberfläche, sondern auch in jeder Stelle unter derselben gemessen werden, sind folgende:

1) das von Pitot erfundene, und in den Abhandlungen der pariser Akademie, beschriebene Instrument, welches sich wegen seiner Einfachheit sehr empfiehlt. Dies besteht aus zwei Röhren, nämlich aus einer blechernen etwa 1 Zoll weiten Röhre AB, Fig. 138, welche unten eine trichterförmige Oeffnung BC erhält, deren Achse horizontal liegt, und aus einer damit mittelst metallener Charniere verbundenen gläsernen Röhre AD. Diese beiden Röhren werden an einem dreieckigen Holze, von der Dicke wie die Röhren, in einer kleinen Vertiefung angebracht, und auf diesem wird eine kupferne Platte, worauf die Eintheilung von Fußen, Zollen u. s. w. bemerkt ist, angeschraubt. Wird nun die Röhre so weit ins Wasser gestellt, daß ein Theil der gläsernen Röhre über dem Wasserspiegel hervorragt und die Oeffnung C gegen den Strom gekehrt ist, so wird das Wasser nach den hydrostatischen Gesetzen in die Röhre bis zu einer mit der Oberfläche des Flusses gleichen Höhe steigen. Allein wegen der Geschwindigkeit, womit das Wasser in die Oeffnung hineinfließt, wird es höher steigen, und diese Höhe hält dem Stoße des Wassers gegen die Oeffnung C das Gleichgewicht, daher auch die Höhe der Wassersäule FG die Geschwindigkeit des Wassers $= c$ in der Tiefe FB ausdrückt.

In dem Vorhergehenden ist erwiesen, daß die der Ge-

schwindigkeit zugehörige Höhe gleich der Höhe sey, mit welcher ein Körper frei herunter fällt, und die man $= \frac{c^2}{4g}$ findet. Soll daher eine Wassersäule dem Stoße gegen C das Gleichgewicht halten, so muß ihre Höhe

$$h = \frac{c^2}{4g}$$

seyn. Hieraus findet man die Geschwindigkeit des Wassers in der Tiefe FB oder

$$c = 2\sqrt{g}\sqrt{h} = 7,9\sqrt{h}$$

Nach den von du Buat*) verbesserten Einrichtungen und aus den damit angestellten Versuchen geht hervor, daß der senkrechte Stoß auf verschiedene Punkte einer Ebene kleiner wird, je weiter solche von dem Mittelpunkte abstehen, daß aber die Mitte einen Druck leidet, dessen Höhe anderthalbmal so groß ist als die der Geschwindigkeit des anstoßenden Wassers zugehörige Höhe. Daher erhält man für die Pitotsche Röhre $h = \frac{3}{2}\frac{c^2}{4g}$, also die Geschwindigkeit $c = \sqrt{(\frac{8}{3}g)}\sqrt{h}$

Reichenbach hat dieses Instrument auf eine wesentliche Weise verbessert, und es in eines der nützlichsten hydrometrischen Werkzeuge verwandelt. Auf einer gemeinschaftlichen Scale sind zwei Glasröhren neben einander befestigt, wovon die eine sich unten gerade in dem Flusse öffnet und die andere sich in einen kleinen messingenen Trichter endigt. Beide können an ihrem untern Ende mit zwei an einer gemeinschaftlichen Achse befindlichen Hähnen mit einem Drucke schnell geöffnet und geschlossen werden,

2) die hydraulische Schnellwage, welche von Leupold**) und Michelotti***) beschrieben ist, hat an einer Stange

*) Principes d'Hydraulique T. II. §. 454. p. 176.

**) Theatrum machinarum generale §. 504.

***) Sperimenti idraulici principalmente diretti a con-

AB, Fig. 139 eine Tafel C, gegen welche das Wasser senkrecht stößt. In A ist dieses Instrument senkrecht aufgehangen, und an dem Hebelarme AD wird ein Gewicht E mit dem Stoße des Wassers gegen die Tafel C ins Gleichgewicht gebracht. Brüning *) hat bei diesem Instrumente einige Abänderungen angebracht. Dessen ungeachtet darf das Instrument auf eine große Tiefe nicht gebraucht werden, weil alsdann die Wirkung des Wassers auf die verticale Stange nicht ganz unbedeutend bleiben kann, und weil dann das Wasser an einem zu langen Hebel wirken muß, wozu ein zu großes Gegengewicht erforderlich ist, und also die Reibung an der Achse der Wage zu groß werden würde.

3) Der von Lorgna **) angegebene Wasserhebel besteht aus einem hölzernen Pfahl AB, Fig. 140, welcher auf dem Grunde feststeht, und so viel als möglich senkrecht erhalten werden muß. Längs der Seite CK ist eine Ruthe gemacht, in die ein kleiner hoher Cylinder, CD, ungefähr von einem Zoll im Durchmesser, angebracht wird, und an deren Ende sich eine metallene Röhre bei D befindet. Diese Röhre wird vermittelst einiger Ringe an dem Pfahle befestigt. Durch diese Röhre und über die Rolle geht ein Faden, oder eine feine Schnur von Seide, an deren Ende bei E, das sich in drei Stränge theilt, eine Halbkugel befindlich ist. Das andere Ende des Fadens ist bei F an dem kurzen Arme eines Hebels FG befestigt, so daß, wenn

---

firmare la Teoria e facilitare la Pratica del misurare le acque correnti. Vol. II. Torino, 1771, p. 116 etc.

*) Abhandlung über die Geschwindigkeit des fließenden Wassers. Frankfurt, 1798. S. 100 u. f.

**) Memorie intorno alle acque correnti. Verona, 1777. p. 7 etc.

der Strom die Halbkugel forttreibt, ein Gewicht H am langen Arme des Hebels mit dem Stoße des Wassers ins Gleichgewicht gebracht werden kann. An den Hebel ist außer seinem Gegengewichte H in G eine metallene Schale gehängt, in welche, da das Gewicht blos die Pfunde und Unzen anzeigt, auch die kleinsten Gewichte bequem gelegt werden können. Der Pfahl wird in das Wasser so gestellt, daß dessen Seite AB gegen den Strom gerichtet ist, und der Faden wird in F so weit nachgelassen, daß das Wasser die Halbkugel in einer Entfernung von zwei oder drei Fuß von dem Pfahle forttreiben kann. Das Gewicht an dem Hebel wird nun mit der Wirkung des Wassers auf den größten Cirkel der Halbkugel ins Gleichgewicht gesetzt, und daraus berechnet Lorgna nach der Theorie vom Stoße des Wassers — daß dieser gleich sey einer Wassersäule, deren Basis die gestoßene Fläche und deren Höhe die der Geschwindigkeit angehörige Höhe ist — die gesuchte absolute Geschwindigkeit des Wassers.

Eytelwein *) macht den Vorschlag, in E statt einer Halbkugel eine ganze Kugel anzubringen, deren specifisches Gewicht dem specifischen Gewichte des Wassers gleich seyn muß, damit der Faden DE beinahe in horizontaler Lage erhalten wird. Auch sagt er, daß es am besten ist, den Hebelarm IG mit feinen numerirten Zähnen zu versehen, und um zugleich die Reibung und Biegsamkeit des Fadens in Rechnung zu bringen, durch Versuche zu bestimmen, wie viel Gewicht in E ziehen muß, um das Gewicht am Hebel IG im Gleichgewichte zu halten.

4) Die Wasserfahne von Ximenes gründet sich darauf, daß an einer beweglichen Spindel AB, Fig. 141, eine Platte oder Fahne — deren Länge 46,4 Zoll und de-

*) Handbuch der Mechanik und Hydraulik, 24. Cap. §. 283.

ren Höhe = 23,1 Zoll ist, — befestigt ist, welche senkrecht vom Strome in jede Tiefe gestoßen werden kann, deren Stellung gegen die Richtung des Stromes man aus dem Zeiger bei A, welcher sich über einen unbeweglichen, in Grade eingetheilten Halbcirkel dreht, bemerkt. An dem obern Ende der Spindel ist eine Scheibe A befestigt, um welche ein Faden gelegt ist, welcher über die Rolle D geht, und am Ende mit einem Gewichte E beschwert ist. Dieses Instrument gründet sich auf dieselbe Theorie wie der Wasserhebel oder die hydraulische Schnellwage.

5) Der von Brüning erfundene und in dessen Abhandlung über die Geschwindigkeit des fließenden Wassers beschriebene und abgebildete Tachometer gründet sich darauf, daß eine Tafel C, Fig. 142, senkrecht von dem Strome nach der Richtung CD fortgestoßen wird. Am Ende der dünnen Stange CD, woran die Tafel befestigt ist, geht von D ein Faden über die Rolle E bis an den Hebelarm bei F, an dessen entgegengesetztem Arme ein Gewicht G dem Stoße des Wassers das Gleichgewicht hält.

6) Der von Woltmann erfundene Geschwindigkeitsmesser oder hydrometrische Flügel *) gründet sich darauf, daß der Strom zwei kleine Flügel CD, Fig. 143, auf eine ähnliche Art wie die Luft die Windmühlenflügel umtreibt. An der Flügelwelle ist eine Schraube ohne Ende in E, welche in ein gezähntes Rad F eingreift, so daß sich durch dieses Rad die Anzahl der Umdrehungen leicht bemerken, und daraus die Geschwindigkeit des Stromes sich durch eine Berechnung finden läßt. Mittelst der Schnur GH ist man im Stande, die Achse des Rades zu erhöhen, da-

*) Siehe dessen Theorie und Gebrauch des hydrotechnischen Flügels. Hamburg, 1796.

Digitized by Google

mit dieses nur so lange in die Schraube ohne Ende greift, als man die Secunden zählt.

7) Die übrigen minder wichtigen Geschwindigkeitsmesser als die hydrometrische Flasche von Grandi*); Mariotti's zwei Kugeln von Wachs**), der Regulator von Castelli ***) und das Instrument von Fossombroni****) sind zugleich mit den oben beschriebenen in Kästners Hydrodynamik, in Brüning's Abhandlung über die Geschwindigkeit des fließenden Wassers, und in Wiebeking's angeführter Wasserbaukunde, 1ster Bd. S. 198 bis 203 u. S. 33 dargestellt und abgebildet.

Der ehemalige Generalinspector des Brücken- und Straßenbaues in Frankreich, Gauthey, hat ein ziemlich einfaches Werkzeug erfunden, welches die Geschwindigkeit durch den Stoß auf eine kleine Fläche angiebt. Dieses Instrument findet man beschrieben in den Mémoires sur les Canaux de Navigation, Paris 1816 par Gauthey. Auch findet man eine Beschreibung davon in der Darstellung der Brückenbaukunde von Röder, 1ster Th. §. 12.

§. 157. Es ist bereits gezeigt worden, daß man in irgend einer verticalen Linie eines Flusses die mittlere Geschwindigkeit für diese verticale Tiefe = H finden kann, wenn die Geschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche des Flusses = C gegeben ist, und zwar durch folgende Gleichung:

---

*) Trattato geometrico del movimento delle acque del Patre Abate Guido Grandi Lib. 1. Prop. XLVI.

**) Du mouv. des eaux, Tom II.

***) Dimostrazioni geometriche della misura delle acque correnti, di D. Benedetto Castelli. Bologna, 1659 pag. 78.

****) Memorie idraulico-storiche, sopra la Val-di-Chiana, compilate dal Cavaliere Vitt. Fossombroni. Firenze, 1789 4.; im Anhange.

Digitized by Google

$$C\,(1-0{,}004\,H)$$

Man verwechsele aber nicht diese mittlere Geschwindigkeit mit der mittleren Geschwindigkeit in einem Querprofile. Soll aber die Wassermenge, welche ein Fluß in einer Secunde wegführt, gesucht werden, so muß man die Geschwindigkeit in verschiedenen Punkten des Querschnittes und zwar immer die mittlere Geschwindigkeit der ganzen Tiefe bestimmen. Da es aber in einem unregelmäßigen Flusse nicht möglich ist, die Wassermenge desselben nach der oben gefundenen Formel für die gleichförmige Bewegung des Wassers in Flüssen zu bestimmen, so bediene man sich eines der oben beschriebenen Stromgeschwindigkeitsmesser, um die einzelne Geschwindigkeit eines Querprofils auszumitteln, und hiernach die Wassermenge zu berechnen. Da es aber nicht leicht ist, besonders bei tiefen Flüssen, die verschiedenen Geschwindigkeiten in jeder Tiefe zu messen, und man selten mit einem Instrumente versehen ist, um die Geschwindigkeiten bis auf das Grundbett genau zu finden, so beobachte man die Geschwindigkeiten an der Oberfläche des Wassers und berechne dann die mittlere Geschwindigkeit für jede Tiefe.

Um also die durch das ganze Querprofil ABCD, Fig. 144, in einer Secunde strömende Wassermenge zu finden, theile man das Querprofil in mehrere Abtheilungen, beobachte an der Oberfläche bei EFGH die Geschwindigkeit und messe die dazu gehörige Tiefe ED, FS, GC, HI, alsdann kann die mittlere Geschwindigkeit für jeden verticalen Streifen und hieraus die Wassermenge auf folgende Art gefunden werden.

Wenn z. B. bei einer Ausmessung die Weiten AE = 4, EF = 8, FG = 8, GH = 8, HB = 4 Ruthen, und die Tiefen ED = 5, Fβ = 8, GC = 11, HJ = 7 Fuß gefunden sind; wenn ferner die Geschwindigkeiten der Oberfläche bei E = 2,4, bei F = 4,3 bei G = 4,2 und bei H = 3,1 Fuß beobachtet sind, so kann die mittlere Geschwindigkeit nach dem vorhin gefundenen Ausdrucke für

jede zugehörige Tiefe gefunden werden. Theilt man alsdann die Weiten EF, FG, GH in gleiche Theile, und zieht die Verticallinie dk, ce, fh und multiplicirt den Inhalt jeder Fläche, wie Adk, dcek, cfhc, fBh mit der dazu gehörigen mittleren Geschwindigkeit, so giebt die Summe aller Producte die gesammte Wassermenge, welche durch den ganzen Querschnitt abgeführt wird.

Es sey der Inhalt von Adk = 480 □Fuß
" " " " dcek = 768 "
" " " " cfhc = 1056 "
" " " " fBh = 672 "

und die berechneten mittlern Geschwindigkeiten

für ED = 2,361 Fuß
" FS = 2,916 "
" GC = 4,015 "

so erhält man die Wassermenge

Adk = 480 . 2,361 = 1133,2 Kubikfuß
dcek = 768 . 2,916 = 2239,4 "
cfhc = 1056 . 4,015 = 4239,8 "
fBh = 672 . 2,963 = 1991,1 "

Es fließen daher durch das ganze Stromprofil ABCD in jeder Secunde 9603,5 Kubikfuß Wasser.

Prony sagt, daß man die mittlere Geschwindigkeit eines Flusses erhält, wenn man die auf seiner Oberfläche im Stromstriche gefundene Geschwindigkeit mit 0,82 multiplicirt. Das Product aus dieser und der Querschnittsfläche des Flusses giebt dann die gesuchte Wassermenge.

Ueber die Art, Profile bei breiten Strömen aufzunehmen, giebt Eytelwein Anleitung in den Zusätzen zu du Buats Hydraulik. S. 130.

§. 158. Außer den bereits angeführten Schriften von Langsdorff, Eytelwein, Bossut, und du Buat findet man auch in nachstehenden Unterricht über die Bewegung des Wassers in Flüssen.

Bernhard's Neue Grundlehren der Hydraulik. Aus

dem Franz. mit Anmerkungen von Langsdorff, Leipzig und Frankfurt, 1790. S. 278 u. f.

J. F. Lempe, Lehrbegriff der Maſchinenlehre 1ſten Theils 2te Abth., Leipzig, 1797, S. 20.

Fabre Essai sur la théorie des torrens et des rivières; à Paris, An. VI (1797) I. Part. Sect. 1—5 p. 2 etc.

Wiebeking und Krönce Allgemeine Waſſerbaukunde, 1ſter Bd. S. 391 u. f.

P. S. Girard Essai sur le mouvement des eaux courantes, et la figure qu'il convient de donner aux canaux etc. à Paris, 1804.

Prony, Recherches physico-mathématiques sur la théorie des eaux courantes; à Paris, 1804.

Abhandlungen der K. Akad. d. Wiſſenſch. in Berlin Jahrg. 1814—15. Berlin, 1818. S. 137 und Jahrg. 1818—19. Berlin, 1820. S. 9.

F. E. T. Funck Beiträge zur allgemeinen Waſſerbaukunſt, Lemgo, 1808 und deſſen Verſuch einer Darſtellung der wichtigſten Lehren der Hydraulik, Berlin, 1820.

H. Freiherr v. Pechmann, praktiſche Anleitung zum Flußbaue, München, 1825.

Vom Abfluſſe und Aufſtauen bei Wehren und Einbauen in Flüſſen.

§. 159. Der Zweck eines jeden Wehres iſt Aufſtauung des Fluſſes, um ſich entweder für den Betrieb der Mühlen oder für die Ableitung des Waſſers aus dem Fluſſe in einen Kanal oder für andere Zwecke das nöthige Gefälle zu verſchaffen. Dieſe Aufſtauung, für den Betrieb der Mühlen insbeſondere, kann dem oberhalb liegenden Bezirke bei eintretenden Hochwaſſern ſehr nachtheilig werden, daher ein Waſſer ſtets mit Grundabläſſen verſehen ſeyn muß, welche man nach Willkür öffnen und ſchließen kann. Dieſe

Digitized by Google

Grundabläſſe (Freiarchen) müſſen eine hinlängliche Weite haben, damit man bei hohem Waſſer die Aufſtauung entfernen, und dadurch die oberhalb liegenden Grundſtücke vor Schaden bewahren kann. Am zweckmäßigſten ſind unſtreitig die Wehre, welche ganz aus Grundabläſſen beſtehen. Silberſchlag (S. deſſen ausführlichere Abhandlung der Hydrotechnik, 2ter Thl. §. 609) hat ein auf dieſe Weiſe erbautes und bei Cottbus an der Spree befindliches Wehr, durch deſſen Oeffnungen in 1 Secunde 10,000 Kubikfuß Waſſer abfließen können, beſchrieben und abgebildet. Wiebeking hat in Baiern drei ſolche Wehre erbauet, nämlich 2 in Landshut, und 1 in München, welche ihrem Zwecke, der Abwendung der Ueberſchwemmungen, nach Möglichkeit entſprechen.

Um aber über die Wirkung eines Wehres urtheilen zu können, muß man die durch das Wehr bewirkte Erhöhung des Flußbettes, und überhaupt die Anſchwellung des Waſſers über dem Wehre kennen. Bezeichnet

h die Höhe des Waſſerſtandes über dem Wehre
h′ die Höhe des Wehres
b die Breite deſſelben
B die mittlere Breite des Flußbettes, und
M die Waſſermenge, welche in 1 Secunde durch das Querprofil des Fluſſes ſtrömt, ſo iſt $\frac{M}{(h+h')B}$ die mittlere Geſchwindigkeit des Waſſers, zu deren Hervorbringung eine Druckhöhe $\left(\frac{M}{a.B(h+h'}\right)^2$ erfordert wird.

In dem Vorhergehenden iſt bereits die Höhe des Waſſerſtandes bei ruhigem oder ſtille ſtehendem Waſſer $= \sqrt[3]{\frac{M^2}{(\frac{2}{3}a)^2 b^2}} = \left(\frac{3M}{2ab}\right)^{\frac{2}{3}}$ gefunden worden. Da aber das Waſſer vor dem Wehre gewöhnlich eine gewiſſe Geſchwindigkeit erlangt hat, zu welcher jene Druckhöhe gehört, ſo wird unter dieſer Bedingung für die über das

Digitized by Google

Wehr herabfließende Waſſermenge ein Theil der Höhe des Waſſerſtandes entbehrlich, und es iſt unter der Vorausſetzung, daß der Waſſerſpiegel des Unterwaſſers niedriger als die Oberfläche des Wehres liegt, die Höhe des Waſſerſtandes über dem Wehre, oder

$$(A)\ h = \left(\frac{3M}{2ab}\right)^{\frac{2}{3}} - \left(\frac{M}{a(h+h')B}\right)^2$$

Weil die unbekannte Größe im zweiten Gliede der Gleichung vorkommt, ſo kann der Werth dieſer Gleichung nur durch Annäherung beſtimmt werden.

Soll z. B. in einem 100 Fuß breiten und 4 Fuß tiefen Fluſſe, welcher in jeder Secunde 1400 Kubikfuß Waſſer abführt, ein Wehr 5 Fuß hoch und 80 Fuß breit erbauet werden, ſo beträgt die Höhe des Waſſers über dem Wehre, wenn letzteres keine Flügelwände hat

$$h = \left(\frac{3 \cdot 1400}{10 \cdot 80}\right)^{\frac{2}{3}} - \left(\frac{0{,}2 \cdot 1400}{100(5+h)}\right)^2$$

Nun iſt $\left(\frac{3 \cdot 1400}{10 \cdot 80}\right)^{\frac{2}{3}} = 3{,}021$

Setzt man daher etwa $h = 3$, ſo findet man das letzte Glied der Gleichung

$$\left(\frac{0{,}2 \cdot 1400}{100(5+3)}\right)^2 = 0{,}122$$

folglich die geſuchte Höhe des Oberwaſſers über dem Ueberfalle

$$h = 3{,}021 - 0{,}122 = 2{,}899 \text{ Fuß},$$

wofür man ohne Nachtheil

$h = 2{,}9$ Fuß annehmen kann. Hiernach iſt die urſprüngliche Oberfläche des Fluſſes oberhalb des Ueberfalles um $5 - 4 + 2{,}9 = 3{,}9$ Fuß erhöhet.

Aus der obenſtehenden Gleichung findet man nach gehöriger Reduction die erforderliche Breite des Wehres

$$b = \frac{3M}{2a\left[h + \left(\frac{M}{a(h+h')B}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}}$$

Digitized by Google

Auch kann man aus der Gleichung $\left(\frac{M}{a \cdot B(h+h')}\right)^2 = N$ durch Annäherung mittelſt der Gleichung (A) die Waſſermenge finden, welche in jeder Secunde über das Wehr fließt; denn nach gehöriger Reduction entſteht hieraus

$$M = \tfrac{2}{3} ab\,(h + N)^{\frac{1}{2}}$$

Wird nun $N = o$ geſetzt, und der gefundene Werth von M in der Gleichung ſtatt M geſetzt, ſo kann man N berechnen. Wird nun der gefundene Werth von N in der Gleichung ſtatt N ſubſtituirt, ſo läßt ſich alsdann die Waſſermenge mit hinlänglicher Genauigkeit berechnen.

Es muß bemerkt werden, daß, wenn das Wehr keine Flügelwände hat, $a = 5$ und mit Flügelwänden $a = 6{,}76$. iſt.

§. 160. Ueber die Lage und Conſtruction des Wehres wird hier kürzlich Folgendes bemerkt*).

Die Richtung des Wehres auf die des Stromes darf nicht ſchief ſeyn, weil die darüber ſtürzende Waſſermaſſe das Ufer angreift. Die Wehre müſſen daher entweder unter einem rechten Winkel mit dem Strome angelegt werden, damit ſie eine deſto größere Waſſermaſſe abführen, oder in einem Bogen aufgeführt und in der Mitte geſenkt werden, damit der Ableitungskanal deſto mehr Waſſer zu den Mühlen, die er treibt, leite.

Mehrere Mathematiker ſind bemüht geweſen, die krumme Linie zu beſtimmen, welche man dem Ueberlaſſe eines Wehres geben muß, damit ſolches durch den Ueberlauf des Waſſers in dem einen Punkte nicht mehr angegriffen werde, als in dem andern, und das überſtürzende Waſſer allmälig auf eine Horizontalfläche gleiten kann. Boſſut hat die Beſtimmung dieſer krummen Linie in der mit Viallet gemeinſchaftlich verfaßten Schrift, über die beſte Conſtruction der Deiche, theoretiſch zu beſtimmen geſucht. Allein nach ihren eigenen

*) Ausführlicher wird hierüber im zweiten Bande, in dem Abſchnitte über den Wehrbau gehandelt werden.

Digitized by Google

Geſtändniſſen ſind die von ihnen gegebenen Formeln in der Praxis nicht anwendbar. Daher geben ſie folgende geometriſche Conſtruction einer krummen Linie, welche dem verlangten Zwecke, auf eine für die Praxis hinlänglich genaue Art, entſpricht. Es ſey, Fig. 145, die verticale Höhe des Wehres ab, deſſen Fußpunkt c, ſo mache man die Grundlinie $2\frac{1}{4}$ mal ſo groß als die Höhe ab, ziehe von b nach c eine Linie, beſchreibe aus a den Bogen bcd, errichte aus cl auf die Linie ac einen Perpendikel, theile dc in zwei gleiche Theile und errichte aus h auf dc das Perpendikel lh; beſchreibe endlich aus h den Bogen dlc, ſo entſteht die verlangte krumme Linie bdlc. Die vordere Wand eines Wehres kann der großen Böſchung entbehren; denn ſie leidet keinen Angriff, weil der Stoß des Eiſes und Waſſers nur die obern Lagen des Waſſers trifft. So wie nun dieſe krumme Linie nur mit großen Werkſtücken gebauet werden kann, ſo machen andere Materialien wieder eine andere, denſelben angemeſſene Form des Wehres nothwendig. Darüber ein Weiteres in dem Abſchnitte des 2ten Bandes von dem Bau der Wehre.

§. 161. Durch die Einſchränkung eines Fluſſes wird der Flußraum um eben ſo viel kleiner, als die Geſchwindigkeit wächſt und umgekehrt. Bezeichnet

C die mittlere Geſchwindigkeit eines Querprofils

Q das Querprofil in Quadratfuß

M die Waſſermenge, die der Fluß in einer Secunde abführt, ſo iſt

$Q = \frac{M}{C}$; nennen wir nun die Zahl, um welche der Fluthraum n verkleinert wird, ſo iſt

$$\frac{Q}{n} = \frac{M}{Cn}$$

Wenn man alſo die Breite eines ſtrömenden Waſſers durch zwei gegen einander gekehrte Einbaue verengt, und das Waſſer zwingt, durch eine Oeffnung zu fließen, ſo wächſt allerdings die Geſchwindigkeit des Waſſers in dem Ver-

Digitized by Google

hältniß, als der Durchlaß enger geworden ist. Allein durch das Abprallen der Wasserfäden gegen die Einbaue entstehen Wirbel, Widerströme und Zusammenziehungen; das Wasser gebraucht also länger Zeit und kann, ungeachtet der nfach vergrößerten Geschwindigkeit nicht so schnell abfließen, als vorher; es muß sich also oberhalb der Einbaue stauen und einen mehr oder minder beträchtlichen Wasserfall bilden.

Es sey ABCD, Fig. 146, das Längenprofil vor dem Einbaue FO; wird nun dieser hineingestellt, so wird der Wasserspiegel AD in H anfangen aufzustauen und bis zur größten Höhe k anschwellen, dadurch erhält er einen bedeutenden Fall, welcher sehr gefährlich werden kann, wenn das Wasser oberhalb schnell aufschwillt, während es unterhalb noch tief steht. Die Bestimmung der Stauhöhe EK ist daher, so weit dieses möglich ist, höchst wichtig, auch ist es nützlich, die Länge des Rückstaues oder die Stauweite AK kennen zu lernen.

§. 162. Du Buat verdanken wir zuerst die auf angestellte Versuche begründeten und aus allgemeinen physicalisch-mathematischen Sätzen hergeleiteten Formeln für die Dimensionen der Stauungen. Nach ihm haben mehrere Mathematiker aus seinen Lehrsätzen die Stauhöhe bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Beschränkungen des Flusses zu folgern gesucht.

Setzt man die Stauhöhe, Fig. 146, EK = H, die Länge des Rückstaues oder die Stauweite AK = A, die ursprüngliche Tiefe des Flusses AB = b, und zieht dann an dem obersten Punkte k des Aufstaues die Tangente KH, bis selbige den ursprünglichen Wasserspiegel AD in H schneidet, und noch überdies aus H eine Horizontale HM; dann sey ferner auf eine gewisse Länge des Flusses = l, das ursprüngliche Gefälle desselben = a und dgs Gefälle des höchsten Punktes K vom angestaueten Wasser = a', so ist nach du Buat, Hydrostatik §. 154, die Stauweite AK d. i.

$$A = 1{,}9\ HM$$

Den Werth von HM findet man leicht aus gleichen

Digitized by Google

Proportionen, und iſt nach Eytelwein's Handbuch der Mechanik und Hydraulik, 8tes Cap. §. 187.

$$= \frac{lH}{a - a'}, \text{ folglich iſt}$$

$$A = 1{,}9 \frac{Hl}{a - a'}$$

Um nun den Werth von a und a′ zu finden, dazu dient die gefundene Gleichung für die mittlere Geſchwindigkeit der gleichförmigen Bewegung des Waſſers in Flüſſen

$$C = 90{,}9 \sqrt{\frac{HS}{LP}}$$ wenn alle Größen ſich auf rheinl. zwölftheiliges Fußmaaß beziehen.

Es bezeichnet S die Fläche des Profils und iſt daher $S = bh$; P bezeichnet den Umfang des Profils und iſt ſodann $P = (b + 2h)$.

Werden nun dieſe gefundenen Ausdrücke in oben ſtehende Gleichung geſetzt, und l ſtatt L, ſo wie auch a ſtatt H geſetzt, ſo finden wir nach gehöriger Reduction

$$a = \frac{C^2 (b + 2h) l}{8262,8bh}$$

Setzt man die Waſſermenge $= M$, ſo iſt

$$C = \frac{M}{bh} \text{ oder } C^2 = \frac{M^2}{b^2 h} \text{ daher}$$

$$a = \frac{M^2 (b + 2h) l}{8262,8 b^3 h^3}$$

Auf eine ähnliche Art erhält man, wenn $(H + h)$ ſtatt h geſetzt wird,

$$a' = \frac{M^2 [b + 2(H + h)] l}{8262,8 b^3 (H + h)^3}$$ Dieſe beiden Werthe von a und a′ in die Gleichung von (A) geſetzt, geben nach gehöriger Abkürzung die Stauweite

$$A = \frac{15700 \, H b^3 h^3 (H + h)^3}{M^2 [(6 + 2h)(H + h)^3 - (6 + 2(H + h)) h^3]}$$

Digitized by Google

§. 163. Um die durch Einbau von Brückenpfeilern oder Buhnen, welche die Breite des Flußbettes verengen, bewirkte Stauung des Wassers zu finden, sollen die von G. A. Fischer in seinen Anfangsgründen der Hydrostatik und Hydraulik dafür angegebenen theoretischen Demonstrationen hier zum Grunde gelegt werden. Bezeichnet

B die Breite des Flusses an der Stelle, wo die Buhne eingelegt werden soll,

b die Breite desselben zwischen der Spitze des Einbaues und des gegenseitigen Ufers, oder die Breite, in welcher das Wasser nach dem Einbaue abfließt,

C die mittlere Geschwindigkeit des Flusses in seiner natürlichen Breite,

H die Höhe des aufgestaueten Wassers oder die Stauhöhe,

so erhält man die Geschwindigkeit des Flusses zwischen dem Einbaue und dem gegenüber liegenden Ufer durch das indirecte Verhältniß

$$b : B = C : \left(\frac{BC}{b}\right)$$

zu deren Hervorbringung eine Druckhöhe $\frac{C^2}{a^2}$ gehört. Wird also statt C die gefundene Geschwindigkeit hierein gesetzt, so erhält man, wenn H′ statt H gesetzt wird

$$H' = \frac{1}{a^2}\left(\frac{BC}{b}\right)^2$$ sobald das Wasser stillstehend angenommen wird. Weil aber das fließende Wasser schon die Geschwindigkeit $= 2\sqrt{gH}$ erlangt hat, wenn man H″ statt H substituirt, so ist die dazu gehörige Höhe H″ durch Reduction

$$\frac{C^2}{4g} = H''.$$ Um so viel weniger als $\frac{C^2}{4g}$ beträgt,

kann deshalb die Höhe des Anſtaues angenommen werden. Es iſt demnach die Stauhöhe

$$(A)\quad (H' - H'') = H = \frac{C^2}{a^2}\left(\frac{B^2}{b^2} - \frac{a^2}{4g}\right)$$

Für Brückenpfeiler mit ſpitzen Vordertheilen oder für ſchräge Einbaue iſt $a = 7{,}54$ und für Brücken mit geraden Pfeilern oder für ſteile Einbaue iſt $a = 6{,}76$. Deshalb wird im erſten Falle

$$H = 0{,}0176\ C^2\left[\left(\frac{B}{b}\right)^2 - 0{,}909\right]$$

und im zweiten Falle

$$H = 0{,}0219\ C^2\left[\left(\frac{B}{b}\right)^2 - 0{,}731\right]$$

Um die nöthige Verengung eines Fluſſes für eine gegebene Anſtauung zu beſtimmen, reducire man die gefundene Gleichung (A) für die Stauhöhe auf b, und nach gehöriger Reduction erhält man die Breite der Anſtauungsöffnung

$$b = \frac{B}{a\sqrt{\frac{H}{C^2} + \frac{1}{4g}}} = \frac{1}{a}\cdot\frac{B}{\sqrt{\frac{H}{C^2} + 0{,}016}}$$

Soll z. B. ein 400 Fuß breiter Fluß ſo eingeſchränkt werden, daß ſeine Tiefe über der Verengung 1 Fuß größer wird, ſo iſt, wenn ſeine mittlere Geſchwindigkeit 4 Fuß beträgt, die Breite der Anſtauungsöffnung

$$b = \frac{0{,}1480 \times 400}{\sqrt{\left(\frac{1}{4^2}\right) + 0{,}016}} = 233 \text{ Fuß},$$

folglich beträgt die Länge der Buhne

$$400 - 233 = 167 \text{ Fuß}.$$

§. 164. Röder hat in ſeiner Brückenbaukunde (Th. 1. Abſchn. II. Cap. 2) Berechnungen angeſtellt, wie die Tiefe des Waſſers durch die Stauung wachſe, wenn ſucceſſive die Geſchwindigkeiten, die reducirten Breiten und die Tiefen zunehmen und hat gefunden, daß die Stauhöhe bei jedem

Digitized by Google

Fuß Verkleinerung von 6 beinahe um 0,02 Fuß zunehme, so wie auch, daß die Stauhöhen bei Vergrößerung der Tiefen stärker wachsen, als bei der Beschränkung von b, und bei den vermehrten Geschwindigkeiten am stärksten. Diese Resultate sind auf die von Langsdorff in seiner theoretisch-praktischen Anleitung zum Brückenbau für die Entfernung der Anstauung von einer Brücke gegebene Formel gegründet.

Gewiß ist es, daß durch eine beträchtliche Verengung des Stromes nur eine sehr geringe Erhöhung seiner Oberfläche bewirkt wird, welches auch den Erfahrungen gemäß ist. Ist nicht Erhöhung der Oberfläche, sondern Verschaffung mehrerer Tiefe für die Schifffahrt der Endzweck, so kann dieses mit einem weit kürzern Einbaue erreicht werden; denn dadurch erhält der Strom an den seichten Stellen eine beträchtlich größere Geschwindigkeit, und durch Ausspülung des Grundbettes, wenn solches nicht aus festem Gesteine besteht, wird eine größere Tiefe bewirkt.

Wird ein Fluß auf $\frac{3}{4}$ seiner Breite reducirt, so ist nach Röder die neue Geschwindigkeit $= \frac{4}{3}$ C. Denn nehmen wir, mit Beibehaltung der obigen Bezeichnung, die Geschwindigkeit $C = 1$, und die mittlere Tiefe $= \frac{Q}{b}$ an, so ist, wenn wir die Stauhöhe außer Acht lassen, mit der Reduction von b auf $\frac{3}{4}$ auch Q auf $\frac{3}{4}$ reducirt. Da nun nach dem Vorhergehenden $M = QC$, so wird auch

$$M = \frac{3Q}{4} \times \frac{4}{3} C.$$

Wäre die reducirte Breite gleich $\frac{66}{100}$ B, so ist die neue Geschwindigkeit $\frac{100}{66}$ $C = 1{,}51$ C.

§. 165. An einer in einem Flusse angelegten Buhne leidet der Kopf des Einbaues am meisten, daher man den

Digitized by Google

selben der Gewalt des Wassers so viel als möglich zu entziehen suchen muß.

Bossut hat in der mit Viallet gemeinschaftlich verfaßten Schrift, über die beste Construction der Deiche, gesucht, die zweckmäßigste Figur für den Kopf eines Einbaues theoretisch zu bestimmen, und um den Stoß des Wassers auf die ganze Oberfläche des Kopfes gleichförmig zu vertheilen, ist erwiesen, daß die beste Form, die man dem Kopfe eines Einbaues geben kann, die eines gleichschenkeligen Triangels BAB, Fig. 147, ist, wobei man nicht unterlassen muß, die beiden Winkel B und b abzurunden, um dem Wasser unmerklich die Richtung längs der Oberfläche des Einbaues zu geben und den spitzen Winkel A des Einbaues zu verstärken, damit er dem Eisgange desto besser widerstehe. Um demnach den Kopf eines Einbaues zu bestimmen, dessen Seite BH, Fig. 147, mit der Richtung des Stromes einen beliebigen Winkel macht, wird auf BH eine Linie Bb perpendicular gezogen, und auf der Basis Bb ein Triangel BAb construirt, dessen Seite AB mit dem Stromstriche parallel ist. Alsdann hat nur die Seite AB etwas vom Stoße auszuhalten, welcher um so viel geringer seyn wird, als der Winkel A spitziger ist.

Von der Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

§. 166. Eine wasserdichte Verbindung mehrerer hohlen Cylinder, welche ihrer Länge nach an einander zusammengefügt sind, heißt eine **Röhrenleitung**.

Die von du Buat für die Bewegung des Wassers durch Röhren gegebenen Gesetze, welche durch die Theorie von Eytelwein vereinfacht und für den praktischen Gebrauch anwendbar gemacht sind, sollen hier kurz erwähnt, und, ohne weitläufige theoretische Demonstrationen aufzustellen, nur die darüber von Eytelwein in seinem Handbuche der

Mechanik und Hydraulik gegebenen Formeln angeführt werden.

Der Widerstand in den Röhrenleitungen, welcher von der Adhäsion des Wassers und der Röhrenwände, von der Abprallung der Wassertheile von diesen Wänden, und von andern Hindernissen herrührt, hindert das Wasser, durch eine Röhrenleitung mit der Geschwindigkeit zu fließen, welche die Druckhöhe erzeugt. Es muß daher, wie Langsdorff in seinem Lehrbuche der Hydraulik, Cap. 8, bemerkt, ein gewisser Theil der Wasserhöhe blos dazu verwendet werden, den Widerstand zu überwinden, welchen das Wasser in den Röhren leidet, und überhaupt die Hindernisse der Bewegung in den Röhren aufzuheben. Daher nahm Eytelwein in seiner Theorie, welche in seinen Zusätzen zu Buat's Hydraulik S. 86 u. f. enthalten ist, an, daß von der ganzen Druckhöhe ein verhältnißmäßiger Theil zur Erzeugung der Geschwindigkeit des Wassers in der Röhrenleitung verwandt wird, und nannte diesen Theil die Geschwindigkeitshöhe, den übrig bleibenden Theil aber, welcher zur Ueberwältigung des Widerstandes in der Röhrenleitung aufgeht, die Widerstandshöhe.

Man erhält demnach die Geschwindigkeitshöhe h'', wenn die Widerstandshöhe h' von der Druckhöhe h abgezogen wird, mithin $h'' = h - h'$. Bezeichnet nun C die mittlere Geschwindigkeit des Wassers, so ist die Höhe, welche diese Geschwindigkeit hervorbringt, $H = \frac{C^2}{a^2}$, folglich in diesem Falle

$$h - h' = \frac{C^2}{a^2} \text{ und}$$

$$h' = h - \frac{C^2}{a^2}$$

§. 167. Da die Widerstandshöhen von den Längen der Röhrenleitungen, von den Röhrenweiten und von den Geschwindigkeiten, mit welchen das Wasser durch die Röh-

Digitized by Google

ren fließt, abhängen, — denn je länger und weiter die Röhren sind, desto mehr Hindernisse sind zu überwältigen, und je größer die Geschwindigkeit ist, desto mehr Wassertheile müssen sich in einer kurzen Zeit losreißen, — so können die einzelnen Verhältnisse auf eine ähnliche Art wie im §. 143, zusammengesetzt werden. Möge demnach

H und h zwei verschiedene Druckhöhen,
H′ = h′ = = Widerstandshöhen,
L = l = = Längen der Röhrenleitungen,
D = d = = Durchmesser derselben,
C = c = = mittlere Geschwindigkeiten des durch sie fließenden Wassers bezeichnen. Alsdann verhalten sich

1) bei einerlei Geschwindigkeit und einerlei Durchmesser der Röhren (wenn $C = c$ und $D = d$) die Widerstandshöhen, wie die Längen der Röhren
$H' : h' = L : l.$

2) wenn beide Röhren gleiche Längen und gleiche Durchmesser haben, nämlich wenn $L = l$, und $D = d$, so verhalten sich die Widerstandshöhen wie die Quadrate der Geschwindigkeiten
$H' : h' = C^2 : c^2$

3) Sind die Längen der Röhrenleitungen und die Geschwindigkeiten des ausfließenden Wassers einander gleich, d. i. $L = l$ und $C = c$, so verhalten sich die Widerstandshöhen direct wie die Wände der Profile und umgekehrt wie die Quadrate der Durchmesser.

$$H' : h' = D\pi \cdot \frac{d^2\pi}{4} : d\pi \cdot \frac{D^2\pi}{4} \text{ oder}$$

$$H' : h' = d : D.$$

4) Sind die Dimensionen in beiden Röhrenleitungen verschieden, so verhalten sich die Widerstandshöhen wie die oben stehenden und mit einander verbundenen Proportionen:

Digitized by Google

$H' : h' = LC^2\ d : l\ c^2D$, folglich

$$c = C\sqrt{\frac{L}{DH'}} \cdot \sqrt{\frac{dh'}{l}}$$

Aus den Versuchen, welche du Buat angestellt hat, und aus den darüber geführten Rechnungen von Eytelwein ist der Ausdruck $C\sqrt{\frac{L}{DH'}} = 44{,}79$ rheinl. Fuß gefunden worden. Es ist demnach

$$c = 44{,}79\sqrt{\frac{dh'}{l}}$$

Wird nun statt h' der gefundene Werth von demselben $h - \frac{c^2}{a^2}$ in die Gleichung gesetzt, so erhält man nach gehöriger Reduction, weil $a = 6{,}42$ ist,

$$c = 6{,}42\sqrt{\frac{50\,dh}{l + 50\,d}}$$

als die mittlere Geschwindigkeit, womit das Wasser aus einer Röhrenleitung fließt, wenn sich alle Größen auf rheinl. Fußmaaß beziehen.

Ist die mittlere Geschwindigkeit bekannt, so erhält man daraus die Wassermenge $M = \frac{1}{4}\pi d^2 c = 5{,}04\,d^2\sqrt{\frac{50\,dh}{l+50d}}$ weil $\frac{1}{4}\pi . 6{,}42 = 5{,}04$ ist.

§. 168. Wenn Krümmungen bei Röhrenleitungen vorkommen, so hat das Wasser durch diese einen neuen Widerstand zu überwinden, wozu ebenfalls ein Theil der Druckhöhe verwandt werden muß.

Die Punkte in den Krümmungen der Röhren, woran das Wasser stößt, heißen die Anprellungen; die Winkel, welche durch die Achsen der Röhren und die an die Krümmungen gezogene Tangente entstehen, die Anprellungswinkel, und der Winkel, welchen die Achsen der Röhren einschließen, der Krümmungswinkel.

Digitized by Google

Nach den von du Buat (Hydr. 1. Bd. S. 104 u. f.) gemachten Versuchen verhält sich der Widerstand, welcher von den Krümmungen einer Röhrenleitung herrührt, wie das Quadrat der Geschwindigkeit des Wassers, multiplicirt mit der Summe der Quadrate von den Sinus aller Anprellungswinkel, vorausgesetzt, daß diese Winkel nicht 36 bis 40 Grad übersteigen und keine scharfen Ecken in der Röhre sind. Bezeichnet

c die mittlere Geschwindigkeit des Wassers in der Röhre,

S^2 die Summe der Quadrate der Sinus sämmtlicher Anprellungswinkel,

so hat du Buat (Hydr. §. 107) gefunden, daß die Widerstandshöhe zur Ueberwältigung des Widerstandes, welcher von den Krümmungen herrührt, um den Theil

$K = 0{,}00387\ c^2\ S^2$ rheinl. Fußmaaß vermehrt werden muß. Die mittlere Geschwindigkeit findet man auf eine ähnliche Art wie im vorigen §., nur muß die Widerstandshöhe h' um K vermehrt werden. Nach dieser Entwickelung entsteht die Gleichung

$$c = \sqrt{\left[\frac{41{,}22\,h}{0{,}02\,\frac{l}{d} + 0{,}16\,S^2 + 1}\right]}$$

§. 169. Bei Anordnung der Röhrenleitung muß man vorzüglich Folgendes berücksichtigen:

1) daß, wenn die Röhren eine andere Richtung erhalten sollen, die Richtungslinie alsdann nicht in Gestalt eines Winkels, sondern in Form eines Bogens von der geraden Linie abweichen darf, damit der Widerstand sich nicht vermehre. Um die Reibung der Wassertheilchen zu vermindern, ist es zuträglich, den Halbmesser der Biegung so groß als möglich anzunehmen, und die Aushöhlung der Röhren, so weit die Biegung geht, allmälig zu erweitern.

Digitized by Google

2) Wenn mehrere Röhren zusammenstoßen, müssen alle plötzliche Verengungen vermieden werden, weil dadurch eine Zusammenziehung des Wassers erfolgt, wodurch die fließende Wassermenge vermindert wird; dagegen ist es zweckmäßig, der ersten Röhre am Einflusse der Leitung eine erweiterte Oeffnung, nach der Gestalt des zusammengezogenen Strahls, zu geben, wodurch eine Vermehrung der einfließenden Wassermenge bewirkt wird.

3) Wenn eine Röhrenleitung in die Höhe steigt und dann wieder abfällt, so sammelt sich in den concav aufgerichteten Krümmungen gewöhnlich Luft, welche den Durchfluß des Wassers verhindert, daher man an diesen Stellen verticale Luftröhren oder Windstöcke anbringt, um die Luft abzuleiten.

4) Ist das Wasser nicht gänzlich rein, so setzen sich an den tiefsten Stellen der Röhren Schlamm und andere Unreinigkeiten, daher man an diesen Orten, oder, wenn die Röhrenleitung lang ist, in einer Entfernung von etwa 300 Fuß viereckige Kasten, Wechselhäuschen genannt, oder auch nur bloße Schlammspünde anbringt, um durch deren Oeffnung die angehäuften Unreinigkeiten auszuspülen.

§. 170. Zur Fortleitung des Wassers bedient man sich der bleiernen, eisernen, hölzernen, oder gebrannten thönernen Röhren, wovon später mehr die Rede seyn wird. Allein für die Wasserleitungen der Städte sind Röhren von Gußeisen allen übrigen Arten vorzuziehen. Bei einer geringen Dicke der Wände können sie jedem Drucke widerstehen, indem $\frac{1}{4}$ Zoll für Röhren von 20 Zoll, $\frac{3}{8}$ Zoll für Röhren von 10″ und $\frac{3}{16}$″ für Röhren von 5″ im Durchmesser hinreichen. Die Zähigkeit eines Quadratzolles des besten Gußeisens beträgt mehr als 20,000 ℔, also 10 mal mehr als der Druck einer Wasserhöhe von 140 Fuß, welcher

ungefähr 62 ℔ auf den Quadratzoll beträgt. Dieſe Röhren können vollkommen waſſerdicht mittelſt geſchmolzenen Bleies, oder mit einem Kitte aus 2 ℔ Salmiak, 100 ℔ Gußeiſenbohrſpänen und etwas Schwefel in einander eingefügt werden. Das Eiſen iſt dauerhaft, theilt dem Waſſer keinen üblen Geſchmack mit, und iſt wohlfeiler im Verlaufe von Jahren, als jedes andere Röhrenmaterial. Die Röhren müſſen 9 Fuß lang ſeyn und ſo gelegt werden, daß ſie immer mit 4 Fuß Erde bedeckt ſind.

Profeſſor Fleuret zu Pont-a-Mouſſon hat durch angeſtellte Unterſuchungen über die Art und Weiſe, wie die Alten den Kalk gelöſcht und den Mörtel bereitet haben, gefunden, daß man auch jetzt noch auf gleichem Wege daſſelbe leiſten, ja ſelbſt den Mangel an Steinen und Bauholz durch die Zubereitung einer Maſſe erſetzen könne, die ſich, in beliebige Form gebracht, in ſehr kurzer Zeit, und ohne an Umfang zu verlieren, völlig verſteinere, und dann jeder Feuchtigkeit, ſo wie jedem Einfluſſe des Froſtes oder der Hitze unzugänglich ſey. Eine ſolche Maſſe kann, je nachdem man ſie geſtaltet, zu Röhren für Waſſerleitungen u. ſ. w. benutzt werden. Es iſt darüber ein Werk von ihm, betitelt: L'art de composer des pierres factices aussi dures que le cailloux, erſchienen.

§. 171. Ueber die Anlage der Röhrenleitungen verbreiten ſich folgende Schriften:

M. Vitruvius Pollio, Baukunſt. Aus der römiſchen Urſchrift von A. Rode. II. Bd. Leipzig 1796, VIII. Buch, 7. Cap u. f.

J. Leupold, Theatrum machinarum hydrotechnicarum, 1724, XI., XII. u. XIII. Cap. von hölzernen, thönernen und bleiernen Röhren.

Belidor, Architectura hydraulica, 1. Th. 4. B. 4. Cap.

Geſammelte Nachrichten, den Röhrenbau, ſowohl mit

Digitized by Google

hölzernen als töpfernen Röhren, betreffend. Leipziger Intelligenzblatt 1764, S. 559 u. f.

Boſſut, angef. Hydrodynamik, 2. Bd. 10. Cap.

Langsdorff, angef. Hydraulik, 11. Cap.

Scheyer, angef. Waſſerbaukunſt, 2. Th. 1. Cap.

Eytelwein, angef. Handbuch der Mechanik und Hydraulik, 3. Abth. 9. Cap.

Digitized by Google

Fünfter Abschnitt.

Von der Wasserförderung.

Einleitung.

Bei dem Wasserbaue kommt es vorzüglich darauf an, Zeit zu gewinnen. Da es aber im Allgemeinen der Fall ist, daß man bei den zusammengesetzten Maschinen an Zeit verliert, was man an Kraft gewinnt, so wie auch, daß die Kostenersparung mehrentheils in der Zeitersparung liegt, so haben solche Wasserhebungsmaschinen, welche möglichst einfach sind, sich leicht von einem Orte zum andern bringen lassen, wenig Raum einnehmen, leicht zu errichten sind, deren Beschädigung leicht wieder verbessert werden kann, und die das Wasser in der erforderlichen Menge und Geschwindigkeit durch einen möglichst geringen Kostenaufwand fördern, den Vorzug vor allen andern, welche nicht diese Eigenschaften, wegen ihrer künstlich zusammengesetzten Einrichtung, besitzen. Es sollen daher diejenigen in der Maschinenlehre dargestellten Schöpfmaschinen, welche hier nicht in Anwendung gebracht werden können, übergangen und nur blos einige der am häufigsten vorkommenden erwähnt,

Digitized by Google

jedoch nur im Allgemeinen so weit beschrieben werden, daß der Leser die Gründe versteht, auf denen ihre Wirkung beruht.

Ehe aber noch dieses geschehen kann, sollen zuvörderst die auf die hydraulischen Maschinen einwirkenden Eigenschaften der atmosphärischen Luft in gedrängter Kürze auseinander gesetzt werden.

§. 172. Bekanntlich erfand Torricelli im Jahre 1643 das Barometer. Durch diese Erfindung wurde der bis zu den Zeiten des Galilei, des Lehrers von Torricelli, herrschend gewesene Glaube, daß kein Theil des Raumes von Materie leer seyn könne und die Natur einen Abscheu vor dem leeren Raum habe, verdrängt. Torricelli, der schon den Druck der Luft und das Verhältniß des specifischen Gewichtes des Queckſilbers zu dem des Wassers kannte, machte den Schluß, daß eine Wassersäule von 32 Fuß einer Queckſilbersäule von 28 Zoll das Gleichgewicht halten müsse, weil Queckſilber $13\frac{1}{2}$ mal schwerer als Wasser sey. Dieses ergiebt sich auch, wenn man die Länge der Wassersäule = 32 Fuß = 384 Zoll durch $13\frac{1}{2}$ dividirt, wobei man ebenfalls 28 zum Quotienten erhält.

Es steht demnach der Druck der Atmosphäre mit dem Drucke einer Wassersäule im Gleichgewichte, deren Höhe 32 Fuß beträgt.

Der Druck der Atmosphäre beträgt ungefähr 15 ℔ auf jeden Quadratzoll bei der mittlern Höhe des Queckſilbers im Barometer; denn ein Kubikfuß Queckſilber wiegt ungefähr 13568 Unzen und $\frac{13568}{1728} \times 29\frac{3}{4} = 233{,}6$ Unzen = 14,6 Pfund.

Nach Tralles's Angabe (Gilberts Annalen der Physik, 27. Bd. Halle 1807. S. 263) verhält sich bei einem Barometerstande von 28 pariser Zoll und bei einer Temperatur von 15 Grad nach dem Reaumurschen Queckſilberthermometer das eigenthümliche Gewicht des Wassers zu dem der Luft, wie 820 : 1. Es ist also das eigenthümliche Gewicht

Digitized by Google

der atmosphärischen Luft = 0,00122. Daher wiegt ein Kubikfuß Luft

$$66 \,.\, 0{,}00122 = 0{,}08052 \text{ rheinl. Pfund oder} = \frac{2}{25}$$

rheinl. Pfund oder $= 2\,\frac{15}{26}$ rheinl. Loth.

Der Druck der Atmosphäre ist aber in verschiedenen Höhen über der Oberfläche der Erde verschieden. Denn wegen der Schwere der Luft üben die höhern Luftschichten auf die untern einen Druck aus, daher die untern Schichten mehr zusammengedrückt oder dichter, mithin elastischer seyn müssen. Das Queckſilber im Barometer muß also in den untern Schichten mehr gedrückt werden als in den obern, weshalb es fallen muß, wenn man sich von niedrigern nach höhern Gegenden begiebt, und dieses Fallen zeigt, wie viel die Luftsäule wiegt, welche man unter sich gelassen hat.

Wäre die Luft in allen Schichten von gleicher Dichtigkeit, so würde das Barometer sogleich die erreichte Höhe angeben.

Nach den von Boyle, Mariotte, Amonton und späterhin von Sulzer und andern Naturforschern angestellten Versuchen verhält sich die Elasticität der Luft wie deren Dichtigkeit, und da nun die Dichtigkeit der Luft sich umgekehrt wie die Größe des davon eingenommenen Raumes verhält, so verhält sich der Raum, in welchem die Luft zusammengedrückt wird, umgekehrt wie die Elasticität oder die zusammendrückende Kraft.

Hitze vermehrt und Kälte verringert die Elasticität, oder, Hitze dehnt die Luft aus und Kälte verdichtet sie, und man kann annehmen, daß bei jedem steigenden Grade des Reaumurschen Thermometers die Dichtigkeit der Luft um $\frac{1}{100}$ abnimmt. Diese Fähigkeit der Luft, sich durch Wärme auszubreiten und also ihre Elasticität zu verstärken, welche in demselben Verhältnisse zunimmt, als die Dichtigkeit abnimmt, ist größer oder geringer nach dem Grade ihrer Feuchtigkeit oder Trockenheit, oder nach ihrem hygrome-

Digitized by Google

trischen Zustande; daher hängt die Elasticität der Luft vom Drucke auf dieselbe, von ihrer Wärme und von ihrem hygrometrischen Zustande ab.

Von den Wasserpumpen.

§. 173. Unter einer **Wasserpumpe** wird im Allgemeinen eine solche hydraulische Maschine verstanden, welche vermittelst des Druckes der Atmosphäre Wasser erhebt. Ihre Erfindung ist sehr alt. Schon in der Mitte des zweiten Jahrhunderts vor Christus soll Ktesibius, ein Mathematiker in Alexandrien und Lehrer des Heron, die Pumpe erfunden haben. Das Wasser wird aus der Tiefe in Pumpen emporgehoben, entweder durch Hub oder durch Einsaugung, oder durch den Druck der äußern Luft, oder durch den Druck einer angebrachten Kraft; auch sind diese Wirkungsarten bei einer Pumpe oft vereinigt. Wird das Wasser vorzüglich durch den Druck der Atmosphäre zum Steigen in Pumpen gebracht, so nennt man sie eine **Saugpumpe**. Wird das Wasser aber durch eine auf den Kolben wirkende Kraft zum Steigen gebracht, so entsteht eine **Druckpumpe**.

Der wesentliche Theil aller Pumpenwerke ist der **Stiefel** (das Kolbenrohr), eine metallene oder hölzerne, viereckig oder kreisrund ausgehöhlte, hinlänglich lange Röhre. Fig. 148 stellt eine in der Mitte durchschnittene viereckige Pumpe dar, und Fig. 149 eine ebenfalls in der Mitte durchschnittene runde Pumpe. Zu hölzernen Pumpen wählt man gewöhnlich Buchenholz, oder auch Ellernholz. Fig. 150 zeigt die vierkantige Zusammensetzung eines Stiefels aus Bohlen mit einem umgelegten eisernen Bande.

Die viereckigen Pumpen können einen größern lichten Querschnitt erhalten, wodurch ein größerer Zufluß möglich wird. Wenn die innere oder lichte Weite des Stiefels oder Pumpenrohrs nicht mehr als 8″ beträgt, so nimmt man dazu zweizollige, bei größerer Weite aber dreizollige harzige kienene Bohlen. Innerhalb, so weit der Kolben spielt,

Digitized by Google

müssen diese Bohlen sehr eben, genau abgehobelt und wechselsweise mit einer Feder und einer Nuthe oder einem halben Spunde versehen werden. Die gespondeten Fugen der Bohlen werden mit heißem Theer und Pech bestrichen und mit Werg gedichtet, um die Verbindung luft- und wasserdicht zu machen. Auch müssen lange eiserne, mit Widerhaken versehene Nägel so eingetrieben werden, daß sie noch in die Feder der Bohlen eingreifen. An dem obern und untern Ende der Röhre von viereckigen Pumpen und in einer Entfernung von 4 Fuß werden eiserne Schraubenbänder umgelegt, welche, wenn das Holz eintrocknet, nachgeschraubt werden können. — Der Kolben kann von Metall seyn; man kann dazu auch gut ausgetrocknetes Buchen- oder Ellernholz nehmen. Fig. 151 stellt einen in der Mitte durchschnittenen, also halben viereckigen Kolben für viereckige Pumpen, und Fig. 152 stellt einen ganzen runden Kolben dar. Die Wände aa, Fig. 151, werden 1½ Zoll, bei sehr weiten Pumpen aber 2″ stark angenommen. Die Höhe ist der Breite gleich, und der Spielraum kann ¼″ betragen. Die ganze Breite beträgt also ½″ weniger, als die Weite des Stiefels. Unten bei bb ist ein breiter eiserner Ring eingelassen. Bei cc ist der Kolben vom obern Rande herabwärts schräg abgeschnitten. In diesem schrägen Abschnitte ist von Sohlleder, oder besser von Wallroßleder, die Linderung angenagelt. Dieses oben vorstehende Leder preßt leise an die Stiefelwand und bewirkt Schluß. An den innern Wänden des Kolbens wird die untere scharfe Ecke abgerundet, damit das Wasser leichter durch dieselben fließen kann. Zum Aufziehen des Kolbens dient die Kolbenstange, welche eine Gabel bildet, deren Füße durch die Wände des Kolbens gehen, und unten durch Schraubenmuttern festgestellt werden. Oberhalb ist eine hinlängliche Oeffnung für die Ventilklappe. Man macht die Kolbenstangen ganz aus Eisen, zuweilen aber auch von Holz, und giebt denselben eine eiserne Gabel. In England werden die Kolben aus gegossenem Eisen mit doppelten Klappen gemacht. Der

Digitized by Google

runde Pumpenkolben hat im Wesentlichen die nämliche Einrichtung; bei den Druckwerken ist aber der Kolben ganz.

Es soll die Einrichtung dieser beiden Pumpen, jede für sich insbesondere, näher beschrieben werden.

Von den Saugpumpen.

§. 174. Die vorzüglichsten Theile, woraus eine gut eingerichtete Saugpumpe besteht, sind folgende.

1) Die Stiefel- oder Kolbenröhre ABCD, Fig. 153, in welcher der an der Kolbenstange S befindliche Kolben LM mit möglichst geringer Reibung an den Wänden wasserdicht auf und nieder bewegt werden kann. Diese Bewegung heißt das Kolbenspiel.

2) An den Stiefel kommt unmittelbar die Saugröhre ID, die mit ihrem untern Theile in das Unterwasser, welches aus der Tiefe emporgehoben werden soll, eingesetzt wird. Von dem untern Theile der Saugröhre heißt der obere IH das Saugstück, IK die Schlundöffnung, und der untere Theil INOK das Seiherblech oder der Seiherkasten, wo die Saugröhre mit einem Drahtgitter oder Flechtwerk von Weidenreisern oder einer blechernen Seihung umgeben werden, um alle in dem Wasser befindlichen körperlichen Theile von dem Innern der Saugröhre abzuhalten. Dieser Seiherkasten ist gemeiniglich auf eine feste Unterlage PRQ, welche mit einem Zapfen R versehen ist, gestützt. Die Saugröhre ist enger als der Stiefel, und zwar um so viel, als die Wände des Stiefelkolbens betragen. Besteht die Saugröhre aus mehreren Stücken, so heißt die obere Röhre, worin das Saugventil (Stöckelventil, Bodenventil) liegt, das Stöckelkiel, die untern folgenden die Kielstücke, Ansteckkiele, von welchen jedes Kielstück 12 Fuß Länge erhält.

3) EF wird der Aufguß oder die Gußröhre genannt, durch welche das emporgehobene Wasser abläuft. Außer

Digitized by Google

diesen Röhren ist die innere Construction einer Saugpumpe folgende:

4) In dem untern Theile des Stiefels auf der Saugröhre liegt das aufwärts zu öffnende Saugventil AD, und zwar innerhalb des sogenannten Stöckels, dessen Querschnitt Fig. 148 zeigt, und worin ein Zapfen in eine Oeffnung paßt, durch die man das genannte Saugventil bei nöthiger Ausbesserung leicht einsetzen und herausnehmen kann. Das Saugventil wird sich mittelst eines in die Oeffnung passenden konischen Körpers oder mittelst einer Klappe öffnen und verschließen.

5) Der Kolben LM besteht aus einem cylindrischen Schieber von Metall oder Holz, der entweder eine einzige Oeffnung hat, oder in mehreren Punkten durchlöchert ist. Im ersten Falle wird selbige durch ein angebrachtes Kolbenventil oder eine Klappe, im zweiten durch eine Lederscheibe geöffnet und verschlossen. Bei einem mit Löchern versehenen Kolben werden ungefähr 6 — 8 dergleichen Aushöhlungen angebracht, welche die Gestalt der Zusammenziehung des Wasserstrahles erhalten, und wobei die kleinern Durchmesser bei einer 8″ weiten Kolbenröhre $1\frac{1}{2}$′, bei einer 10″ weiten Kolbenröhre $1\frac{5}{8}$′, bei einer 11″ weiten Kolbenröhre 2′ und bei einer 12″ weiten $2\frac{1}{5}$′ anzunehmen sind. — Von den verschiedenen Ventilen wird weiter unten die Rede seyn. — Der Raum zwischen dem Kolben an seinem niedrigsten Stande, und dem Saugventil heißt der schädliche Raum. Dieser schädliche Raum muß so klein als möglich gemacht werden. Bei aller Vorsicht ist die Ausdehnung der darin sich aufhaltenden Luft beim Angange der Maschine die Ursache, daß das Saugventil nicht über 28 Fuß über dem Sumpfwasserspiegel liegen darf, obgleich der äußere Luftdruck einer Wassersäule von 32′ gleich kommt. Am sichersten ist es, das Saugventil etwa

Digitized by Google

20 — 22′ hoch über den Sumpfwasserspiegel zu legen. Daß der Kolbenhub so hoch, wie thunlich, geschieht, ist vortheilhaft; denn durch die Menge der bei jedem Hub für die Ueberwindung der Trägheit verloren gehenden Kraft entsteht ein bedeutender Verlust an reinem Effecte, da bei jedem Niedergange des Kolbens durch das Saugventil einiges Wasser verloren geht, und bei jedem Steigen Kraft erfordert wird, die trägen Massen in Bewegung zu setzen. Die Bewegung der Kolbenstange geschieht auf verschiedene Art durch verschiedene Kräfte.

6) Bei den Handpumpen wird die Kolbenstange S entweder durch einen geraden oder einen Winkelhebel, Schwengel genannt, auf und nieder bewegt; bei großen Pumpen geschieht dies, wenn mehrere zugleich in Bewegung gesetzt werden sollen, durch ein Wasserrad, an dessen Wellenachsen Krummzapfen angebracht sind.

Wenn das Wasser nicht über 18 Fuß gehoben werden soll, so fehlt zuweilen die Saugröhre, und der Stiefel steht unmittelbar im Unterwasser. Wenn dagegen das Wasser auf eine beträchtliche Höhe gebracht werden soll, so werden auch über dem höchsten Kolbenstande mehrere Röhren angesetzt. Sind selbige von 2 — 5 Fuß Höhe, so werden sie ein niedriger, bei einer größern Höhe ein hoher Satz, auch eine vereinigte Saug- und Hebepumpe genannt.

§. 175. Um einen deutlichen Begriff von der Hebung des Wassers mittelst einer Saugpumpe zu erhalten, wird folgende von Gregory (im angef. Werke Buch V. Cap. IV. S. 609 u. f.) entlehnte Darstellung hier mitgetheilt.

Nimmt man an, daß an der Kolbenstange eine Kraft so angebracht sey, daß sie den Kolben von A nach L hebt, so strebt die im Raume LADM, Fig. 153, enthaltene Luft, vermöge ihrer Elasticität, den Raum einzunehmen, der durch das Aufziehen des Kolbens leer wird; sie öffnet daher das

Ventil cd und tritt in den Stiefel der Pumpe, wobei ihre Elasticität in dem Verhältnisse abnimmt, in welchem der von ihr eingenommene Raum wächst. Deshalb drückt sie auf die Oberfläche GH des Wassers mit geringerer Kraft, als die äußere Luft in ihrem natürlichen Zustande auf die umliegenden Theile derselben Oberfläche, und der Ueberschuß des von der äußern Luft herrührenden Druckes verursacht, daß das Wasser in der Saugröhre GF bis zu einer gewissen Höhe HW steigt, bei der das Gewicht der Wassersäule GW, zusammengenommen mit der Elasticität der darüber befindlichen Luft, dem Drucke der äußern Luft gerade das Gleichgewicht hält. Dann verschließt sich das Ventil cD von selbst, und wenn der Kolben niedergedrückt wird, so nimmt die Dichtigkeit der zwischen demselben und dem Boden AD des Stiefels enthaltenen Luft um so mehr zu, je tiefer der Kolben zu stehen kommt, und wird am Ende, eben so gut als die Elasticität, größer als die der äußern Luft. Dieser Unterschied in der Elasticität erzeugt eine Kraft, welche das Kolbenventil ab aufwärts stößt, und es muß so lange Luft entweichen, bis sowohl die äußere, als die innere einerlei Dichtigkeit haben. Das Ventil a fällt dann wieder zu, und wenn der Kolben wieder in die Höhe gezogen wird, so steigt das Wasser aus den vorigen Gründen in GRFH höher. So wird das Wasser nach einer gewissen Anzahl von Kolbenspielen den Boden des Stiefels erreichen; ist es dann in den letzten einmal eingedrungen, so wird es bei jedem Niedergange des Kolbens gezwungen werden, durch die Oeffnung EF zu entweichen; denn das über dem Kolben befindliche Wasser drückt auf das Ventil, und hält dies während des Aufganges des Kolbens verschlossen, so daß ein Cylinder, dessen Höhe dem Raume, den er in lothrechter Richtung durchläuft, gleich ist, bei jedem Aufgange gehoben und durch die Ausgußöffnung gedrängt wird, vorausgesetzt, daß diese von angemessener Größe sey. Bringt nun die Elasticität der Luft unter dem Kolben, zusammen mit dem Gewichte der Wasser-

säule, einen Druck hervor, der so groß ist als das Gewicht einer Wassersäule von derselben Grundfläche und einer Höhe von 32 Fuß, so findet Gleichgewicht statt, und das Wasser steigt nicht weiter in die Höhe. Ist jener vereinigte Druck kleiner, als der Druck der 32füßigen Säule, so fährt das Wasser fort, in der Pumpe in die Höhe zu steigen.

§. 176. Aus der zuletzt angeführten Bemerkung läßt sich der allgemeine Satz ableiten, daß es, um den Kolben bei einer Saugpumpe aufwärts zu ziehen, einer Kraft bedürfe, welche dem Gewichte einer Wassersäule gleich kommt, deren Grundfläche dem Querschnitte und deren Höhe der senkrechten Entfernung des Ausgusses von dem Spiegel des Unterwassers gleich ist.

Setzt man deshalb den Querschnitt des Kolbens = F, die Entfernung des Ausgusses von dem Spiegel des Unterwassers = H, und einen Kubikfuß Wasser = γ, so ist die Kraft P für das Gleichgewicht

$$P = FH\gamma.$$

Man nennt sie die hydrostatische Last und H die Höhe des hydrostatischen Widerstandes.

Soll die Reibung des Kolbens in der Stiefelröhre berücksichtigt werden, so kann, nach Baader's vollständiger Theorie der Saug- und Hebepumpen, auf jeden Zoll des Durchmessers 1 ℔ Kraft zur Ueberwältigung der Kolbenreibung gerechnet werden. — In Eytelweins Handbuch der Mechanik und Hydraulik, Cap. 17, findet man die zur Ausziehung und zum Niederdrücken des Kolbens erforderliche Kraft ausführlich berechnet.

§. 177. Da zum Aufziehen des Kolbens eine weit größere Kraft als zum Niederdrücken desselben erfordert wird, so muß man, um Kraftverschwendung zu vermeiden, die Pumpen paarweise, etwa nach Fig. 154, errichten, so daß, wenn der Kolben in der einen nieder-, er in der andern aufwärts geht. Dabei bleibt der Widerstand, also der Gang

Digitized by Google

der Maschine, mehr gleichförmig. Es ist zweckmäßig, wenn man Arbeiter von gleicher Länge zusammenstellt, und die Knebel, woran die Arbeiter ziehen, 4 Fuß vom Boden an den Zugleinen befestigt. Den gemachten Erfahrungen gemäß kann ein Arbeiter mit 40 ℔ Kraft an der Zugleine wirken, und in jeder Minute im Durchschnitte 24 Züge verrichten. Die Pumpen müssen genau senkrecht gestellt werden, und ebenso müssen die Kolbenstangen genau senkrecht spielen, weil sonst die Kolben an die Stiefelwände pressen, und dadurch Reibung verursachen. Um die Kolben stets in senkrechter Richtung zu erhalten, dienen die Bogenstücke ab, ab.

§. 178. Bezeichnet

T die Zeit eines Kolbenspiels;

b den Weg der Last oder die Höhe des Raumes, welchen der Kolben bei jedem Zuge durchläuft, Kolbenhub genannt;

A den Querschnitt des Kolbenrohres oder Stiefels;

a den Hebelarm der Kraft, oder die Entfernung des Kraftpunktes vom Umdrehungspunkte;

β den Hebelarm der Last, oder die Entfernung des Lastpunktes vom Umdrehungspunkte;

w den Weg der Kraft oder die Höhe des Zuges, welchen der Arbeiter mit der Zugleine machen muß;

μ die Anzahl der Pumpen, die allemal gerade seyn soll, so wie auch die Pumpen von gleichen Abmessungen seyn müssen;

N die Anzahl der an den beiden Armen eines Pumpenpaares erforderlichen Arbeiter, mithin $\frac{1}{2}$ N die Anzahl der Arbeiter an jedem Arme;

α die Kraft eines Mannes in Pfunden, welche an der Zugleine wirkt = 40 Pfund;

D den Durchmesser des Kolbens;

Digitized by Google

H die Förderungshöhe, d. h. die Höhe vom Spiegel des Unterwassers oder Sumpfes bis zum Ausgusse;

n die Anzahl der in einer Minute geschehenen Kolbenzüge, wodurch

M Kubikfuß Wasser gehoben werden,

so ist für eine Pumpe

$$M = n\,Ab$$

d. h. die Wassermenge, welche eine Pumpe in einer Minute liefert, ist gleich dem Producte, welches entsteht, wenn die Höhe des Kolbenhubs mit dem Querschnitte des Stiefels der Anzahl der Kolbenzüge in einer Minute multiplicirt wird. Da aber gewöhnlich ein Theil des gehobenen Wassers wegen Unvollkommenheit der Kolben und Ventile wieder zurückfällt oder nicht gefördert wird, und dieser Verlust bei gewöhnlichen Pumpen im Durchschnitt den sechsten Theil der zu hebenden Wassermenge ausmacht, so erhält man

$$M = \tfrac{5}{6}\,n\,Ab$$

und für mehrere, paarweise angeordnete Pumpen ist $M = \frac{5}{6}\,n\,.\,Ab\,.\,\mu$. Sind die Pumpen paarweise angeordnet, so verhält sich

$$\alpha : \beta = w : b \text{ folglich}$$

$$b = \frac{w\beta}{a}\,.\ \text{Daher}$$

$$M = \tfrac{5}{6}\,.\,\frac{w\beta}{a}\,An\mu$$

Wegen der n Kolbenzüge in einer Minute = 60 Secunden, und der Zeit T, die auf einen Kolbenzug verwandt wird, verhält sich auch

$$1 : n = T : 60 \text{ daher}$$

$$n = \frac{60}{T}$$

Mithin beträgt die Wassermenge von μ Pumpen

$$M = \tfrac{5}{6}\,\frac{w\beta}{a}\,.\,\frac{60}{T}\,.\,\mu\,.\,A = \frac{50w\beta\mu A}{aT}$$

Digitized by Google

Der Effect der Wasserhebungsmaschinen überhaupt wird gefunden, wenn man die Höhe, auf welche das Wasser gehoben wird, mit der Wassermenge, die dahin in einer Minute gehoben wird, multiplicirt.

Nach Eytelwein ist für cylindrisch gebohrte Röhren

$$H = \frac{100\,NaD}{33\mu\beta A\,(5\,D+1)}$$ folglich ist der Effect $MH = \frac{5000\,wND}{33\,T\,(5\,D+1)}$

Für Pumpen von Bohlen mit quadratförmigem Querschnitte

$$H = \frac{100\,aN}{33\mu\beta B\,(5\,B+1)}$$ wenn B die Seite vom horizontalen Querschnitte des aufrecht stehenden Stiefels bezeichnet; folglich $B^2 = A$, daher auch

$$M = \frac{50\,w\beta\mu B^2}{aT}$$ Es ist also der Effect

$$MH = \frac{5000\,wNB}{33\,T\,(5\,B+1)}$$

Wenn die Höhe des Zuges 4 Fuß groß angenommen, und die Anzahl der Kolbenzüge in einer Minute $= 24$ gesetzt wird, so ist $w = 4$ und $T = 2{,}5$; für 6zöllige Bohlenpumpen ist $B = \frac{1}{2}$ also der Effect

$$MH = \frac{5000\,.\,4\,.\,\frac{1}{2}}{33\,.\,2{,}5\,(\frac{1}{2}+1)}\,N = 34{,}632\,N$$

Eytelwein und Gilly (praktische Anweisung zum Wasserbau, 5. Abschn. §. 94) haben für verschiedene Pumpenweiten die Werthe der Quotienten $\frac{MH}{N}$ angegeben, die hier folgen:

Pumpenweite. Zoll	$\frac{MH}{N}$	Pumpenweite. Zoll	$\frac{MH}{N}$
6	34,632	9 —	38,277
7	36,106	10 —	39,179
8	37,296	11 —	39,801
		12 —	40,404

Digitized by Google

Werden die in der Tafel befindlichen Quotienten $= Q$ gesetzt, so ist

$$Q = \frac{MH}{N}$$

$$M = \frac{QN}{H}$$

$$N = \frac{MH}{Q}$$

$$H = \frac{QN}{M}$$

§. 179. Die Ventile sollen so beschaffen seyn, daß sie dem Wasser den größtmöglichsten Durchgang verstatten, und sich beim Niedergange des Kolbens sogleich schließen. Die Ventile sind verschieden gestaltet. Fig. 151 stellt ein Klappenventil vor. Ebenso Fig. 155. Dieses besteht aus einer Scheibe von Pfundleder, das zur Verbesserung vorher in einer heißen Mischung von Talg, Oel und Theer getränkt wird. Die Lederscheibe, Fig. 155, ist unten und oben mit einer Metallplatte belegt, und mit derselben durch einen eisernen Bolzen zusammengeschraubt. Die untere Metallplatte ist kleiner, die obere größer als die Oeffnung der Saugröhre. Hier ist der Lappen der ledernen Scheiben zwischen den Metallröhren eingeschraubt, in Fig. 151 ist er auf den Rand des Kolbens angenagelt. Durch die Biegsamkeit dieses Lappens ist das Oeffnen und Schließen des Ventils möglich. Auf die mit einer Metallplatte versehene lederne Scheibe ist ein hölzerner Deckel befestigt, der $\frac{1}{4}$ Zoll breiter als die Ventilöffnung ist, und eine solche Höhe erhält, daß die lederne Scheibe in ihrem aufrechten Stande nicht vertical steht. Metallene Klappenventile mit Gewinden haben den Nachtheil, daß sie in den Gewinden durch Sand und andere Unreinigkeiten leicht Schaden leiden, indem die Ventile sowohl dadurch, als bei längerem Gebrauch sich nicht mit der gehörigen Schnelligkeit verschließen können. Sie gewähren jedoch die größte Durchflußöffnung und haben deshalb vor andern Ventilen in dieser Hinsicht

einen großen Vorzug. Fig. 156 stellt ein doppeltes Klappenventil vor. Dieses besteht aus zwei halbkreisförmigen Lederklappen, die oben und unten mit etwas kleineren Metallplatten belegt, und auf dem Stege beweglich befestigt sind. Bei Pumpenröhren von beträchtlicher Weite wird es gebraucht. Balancirventile sind metallene Scheiben, die an einem außer dem Mittelpunkte liegenden Zapfen beweglich sind. Die Bewegung geschieht dadurch, daß der Druck auf die größere Hälfte stärker ist. Sie sind nur bei langsamer Bewegung nützlich. Der Deckel, womit sie verschlossen werden, ist kreisförmig und etwas concav ausgearbeitet. Belidor (Architectura hydraulica, 1. Th. 3. B. 5. Cap. §. 1133 f.) hat zuerst diese Ventile bekannt gemacht.

Ein Kegelventil stellt Fig. 157 dar. Diese sind ganz von Metall. Der kegelförmig eingetriebene Deckel wird beim Oeffnen vom Wasser senkrecht in die Höhe gehoben. Sie verengen den Durchfluß mehr, als die Muschelventile. Diese letztern sind eben so, wie die Kegelventile gestaltet, nur niedriger; sie bilden öfters im Umfange ein Kugelsegment. In Hinsicht der Dauer sind sie den Klappenventilen vorzuziehen, auch gewähren sie einen stärkern Durchfluß des Wassers.

Kugelventile bestehen aus einer auf der Ventilöffnung lose aufliegenden, eingeriebenen Kugel; der Durchfluß des Wassers erleidet aber bei denselben noch eine größere Verengung, als bei den Kegelventilen.

§. 180. Wenn die Saugröhre fehlt, und der Stiefel AB, Fig. 159, im Unterwasser steht, so heißt eine solche Pumpe eine verkehrte Saugpumpe oder eine Hebepumpe, an welcher eine etwas von der Seite angebogene Ansatzröhre BG angebracht wird. Zur Bewegung des Kolbens ist nur eine kurze Kolbenstange erforderlich CD, welche an dem Gatter ED befestigt ist, und dieses Gatter wird mittelst der Zugstange EF bewegt. Diese Einrichtung hat den Vortheil, daß die Zugstange sich nicht in dem Wasser der

Digitized by Google

Ansatzröhre bewegen darf. Der Kolben erhält seine Ventilklappe am entgegengesetzten Ende, und das Stiefelventil befindet sich oberhalb des Stiefels, wie die Figur deutlich zeigt.

Wenn der Kolben niedergedrückt wird, so entsteht ein leerer Raum zwischen dem Ventil a und der Grundfläche des Kolbens. Das Gewicht des Wassers, zusammen mit dem Drucke der äußern Luft, öffnet das Ventil b, das Wasser dringt in den Stiefel der Pumpe, und wenn das Einströmen des Wassers aufhört, so wird das Ventil durch sein eigenes Gewicht verschlossen. Wird dann der Kolben in die Höhe gezogen, so erhebt er alles darüber befindliche Wasser, zwingt das Ventil a sich zu öffnen und drängt das Wasser in die Ansatzröhre. Hat der Kolben seine höchste Stelle erreicht, so wird das Ventil a durch sein eigenes Gewicht verschlossen, und erhält das darüber befindliche Wasser, bis durch ein neues Kolbenspiel noch mehr durch das Ventil b gedrängt wird, indem das, was sich vorher im obern Theile der Ansatzröhre befand, durch eine angemessene Oeffnung herausgetrieben wird. Auf diese Art wird dann fortgefahren, und bei jedem Kolbenspiele Wasser gefördert.

Von den Druckpumpen.

§. 181. Fig. 158 stellt eine Druckpumpe dar. Mittelst einer solchen Pumpe kann das Wasser auf jede beliebige Höhe gehoben werden, wenn hinreichende Kraft vorhanden ist. Die Ursache davon ist in Folgendem zu suchen. Indem der Kolben E in die Höhe gezogen wird, so verdünnt sich die Luft im Raume ABCGKFD, in welchem das Wasser vermöge des atmosphärischen Druckes über das Stiefelventil empordringt. Wird dann der Kolben niedergedrückt, so verschließt sich das Ventil a, das Gurgelventil b wird von dem Drucke des in die Gurgelröhre getriebenen Wassers aufgestoßen, und es tritt in die Steigröhre. Bei der zweiten Hebung des Kolbens folgt ihm das Unterwas-

Digitized by Google

ser in den Stiefel von Neuem, aber das Gurgelventil schließt sich vermöge der Schwere des darüber stehenden Wassers, und es läßt sich nunmehr leicht einsehen, wie durch wiederholtes Kolbenspiel die Steigröhre IG bis zum Ausflusse gefüllt werden kann. Da aber die Kraft bei dem Niederdrücken des Kolbens auf das Wasser wirkt, und bei der Aufziehung nur die Reibung und Trägheit des Kolbens zu überwinden hat, so verbindet man daher gewöhnlich zwei Druckwerke mit einander, um die Kraft zu vertheilen. Es werden demnach die Kolbenstangen zweier Druckpumpen von einerlei Dimensionen an einem doppelarmigen Hebel ML, Fig. 160, dessen Arme von gleicher Länge sind, beweglich verbunden. Beide erhalten eine gemeinschaftliche Steigröhre GH, die durch zwei Gurgelröhren I und K mit beiden Stiefeln A und B verbunden ist. Eine solche Vorrichtung nennt man ein doppeltes Druckwerk.

Um aber, sowohl bei den einfachen, als auch bei den doppelten Druckwerken, eine gleichförmige Fortströmung des Wassers durch die Steigröhre zu bewirken, müßte man eine Kraft anbringen, die, wenn der Druck der Kolben aufhört, gegen das Wasser in die Steigröhre preßt. Dieses geschieht durch den Windkessel vEDCw, welcher mit den Gurgelröhren I und K und der Steigröhre H in Verbindung gesetzt wird, wovon G die Oeffnung der letztern bezeichnet. Am Anfange oder innerhalb der Gurgelröhren befinden sich die gleich weiten Ventile a und b, die sich nach dem Windkessel hin öffnen. Der Kolben B ist in seinem niedrigsten Stande in dem Beginnen des Aufziehens vorgestellt. Bei dem Aufzuge desselben dringt das Wasser durch das Stiefelventil d und füllt den Stiefel B; das Gurgelventil b wird hingegen, vermöge des Druckes vom Windkessel aus, verschlossen. Zugleich wird aber auch der Kolben A heruntergedrückt, und das in dem Ventil befindliche Wasser schließt das Ventil c, öffnet aber zugleich das Gurgelventil a, und dringt in den Windkessel, wo es die in dem obern Theile des Windkessels bei E befindliche Luft zusammenpreßt, und

Digitized by Google

durch deren Gegendruck zum Theil durch die Oeffnung G in die Steigröhre H aufwärts getrieben wird. Die Luft wirkt aber bei jedem folgenden Kolbenspiele, vermöge ihrer Elasticität, fortdauernd auf das unter ihr befindliche Wasser, weshalb selbiges bei kurzer Unterbrechung des Druckes dennoch im Steigen verbleibt und einen fortdauernden gleichen Ausfluß verursacht.

Auf eine ähnliche Art kann durch Anbringung eines Windkessels bei einer einfachen Druckpumpe ein fortwährendes Steigen des Wassers bewirkt werden. Auch bei den Saugpumpen läßt sich mit Vortheil ein Windkessel über der Saugröhre anbringen, da dann das Wasser aus demselben mittelst einer Verbindungsröhre in den Stiefel unter den Saugkolben tritt; nur muß sich noch ein Ventil an der Verbindungsröhre befinden, welches sich nach dem Stiefel öffnet.

Wird bei einer Pumpe das Wasser, sowohl durch den Druck der Atmosphäre in einer besondern Saugröhre, als auch zugleich durch den Druck des Kolbens gehoben, so entsteht eine vereinigte Saug- und Druckpumpe. Auch bei diesen Saug- und Druckwerken läßt sich zwischen dem Stiefel und der Steigröhre ein Windkessel anbringen.

§. 182. Um die Kraft zu bestimmen, welche zum Niederdrücken und Aufziehen des Kolbens erforderlich ist, muß man den gesammten hydrostatischen, hydraulischen, mechanischen und Reibungswiderstand, welcher die Bewegung des Kolbens verhindert, berechnen. In Eytelwein's Handbuch der Mechanik sind die Widerstände berechnet, und es ist gefunden, daß, sowie die Kraft zum Niederdrücken des Kolbens bei den Saugpumpen ansehnlich kleiner wird, wenn die Kolbenöffnungen so weit, als es die übrigen Umstände zulassen, gemacht werden, auch bei der Druckpumpe eine geringere Kraft erfordert wird, je kürzer und weiter die Gurgel- und Steigröhren und je größer die Ventilöffnungen sind.

Digitized by Google

Die Wassermenge, welche bei dem einfachen Druckwerke während der Zeit eines Kolbenspieles gehoben wird, ist $= Ab$, wenn A den Querschnitt des Stiefels und b die Höhe des Kolbenhubs bezeichnet, und wenn während einer Minute die Wassermenge M ausgegossen, und die Anzahl der Kolbenzüge in dieser Zeit $= m$ gesetzt wird, so erhält man die Wassermenge für jede Minute bei dem einfachen Druckwerke

$$M = 30\,wA$$

und bei dem doppelten Druckwerke $M = 60\,wA$, wenn w die mittlere Geschwindigkeit des Kolbens bezeichnet.

§. 183. Dasjenige, was von den Ventilen bei den Saugpumpen gesagt worden, gilt unter ähnlichen Umständen von den Druckpumpen. Die Kolben müssen genau an die Stiefel schließen, damit nicht das Wasser über sie trete. Es werden daher auch die Stiefel zu den Druckwerken gewöhnlich aus Metall verfertigt und gut ausgebohrt. Die Kolben können auch aus Metall verfertigt und mit Hanf umwunden werden, wobei man eine solche Einrichtung anbringen kann, daß, wenn der Hanf locker wird, derselbe durch Anschraubung des obern Ringes oder Deckels zusammengepreßt wird.

Eine der besten Arten von Druckkolben stellt Fig. 161 dar. Es ist der Kolbenstock aus hartem Holze oder besser aus Blei, etwa zwei Zoll hoch, verfertigt. Auf beiden Seiten sind Fugen von der Dicke des umzulegenden Leders schräg umgedreht; in dieselben ist das Leder gesteckt und mit Nägeln befestigt. Auf beiden Seiten des Kolbenstockes werden zwischen dem Leder Scheiben von Korkholz eingepreßt, auf welche wieder metallene Scheiben kommen, die mittelst der Schraubenmutter des durchgehenden Bolzens zusammengepreßt werden, und so den ganzen Kolben verbinden. Auch kann man zu mehrerer Befestigung des Leders außerhalb des Kolbens dünne kupferne Ringe auftreiben.

Digitized by Google

Von andern erfundenen Wasserpumpen.

§. 184. Außer diesen angeführten Pumpenwerken giebt es noch mehrere. Ein Pumpenwerk, das beim Auf- und Niedergange des Kolbens Wasser hebt, ist von de la Hire angegeben (Mémoire pour la construction d'une pompe, qui fournit continuellement de l'eau dans le reservoir. Mém. de l'acad. de Paris, année 1716. Edit. Bat. pag. 408 etc.) und von Eytelwein in der Mechanik fester Körper und Hydraulik, 18. Cap. S. 313. Leipzig 1823, beschrieben. Die von Andr. Wirz, einem Zinngießer zu Zürich, 1746 erfundene Spiralpumpe beschreibt Langsdorf in den Grundlehren der mechanischen Wissenschaften, und Eytelwein in der oben angeführten Mechanik ꝛc. Cap. 20 S. 319.

Die ersten theoretischen Untersuchungen über die Spiralpumpe befinden sich in den petersburger Commentarien vom Jahre 1772 von Daniel Bernoulli. Ziegler von Winterthur hat im 3ten Bande der Schriften der naturforschenden Gesellschaft in Zürich vom Jahre 1766 eine Beschreibung der Wirzschen Pumpe gegeben. Die vollständigsten Versuche über diese Maschine sind von Nicander in den neuen Abhandlungen der königl. schwed. Akademie der Wissenschaften für das Jahr 1783, 1784 und 1785 im 4ten, 5ten und 6ten Bande enthalten.

Die von Höll erfundene Wassersäulenmaschine beschreibt Langsdorf in der Maschinenlehre (1797) 1. Bd. 2. Th. 14. Cap. und in der angeführten Hydraulik (1794) Cap. 20, Eytelwein aber in seiner angef. Mechanik ꝛc. Cap. 19.

Die von Winterschmidt erfundene Wassersäulenmaschine findet man beschrieben in Calvör's Beschreibung des Maschinenwesens, 1. Th. S. 159, und die von Belidor erfundene in dessen Archit. hydraul. 1. Th. 4. B. 1. Cap.

Reinhold Brenner in Erfurt hat eine neue Einrichtung erfunden, wodurch die durch Druckwerke betriebenen Brun-

Digitized by Google

nen mittelst einer Windblase in eine Feuerspritze zu verwandeln sind. Die Wirkung dieser Pumpe, als Feuerspritze, ist bedeutend. Das Wasser kann zu einer Höhe von 90 Fuß gebracht werden, und hat noch beim Ausgusse einen Sprung von 15 — 20 Fuß. Durch die Kraft von 4 Männern liefert sie eben so viel Wasser zum Feuer, als eine gewöhnliche mittelmäßige Feuerspritze mit 10 — 12 Mann. Auch bei strenger Kälte wird sie nicht leicht ihre Dienste versagen, weil einerseits das Brunnenwasser nicht gefriert, andrerseits auch das Einfrieren des Stiefels nicht zu besorgen ist, indem er noch 6 — 10 Fuß unter der Erdoberfläche steht und durch die Ausdünstung des Wassers das tiefe Eindringen der Kälte hindert. Die Einrichtung derselben ist beschrieben in Dinglers polytechn. Journ. Bd. XIII. H. 3. S. 287.

Den von den Gebrüdern Joseph und Stephan Montgolfier nebst dem Bürger Argant erfundenen Stoßheber hat Eytelwein in einem Werke, betitelt: Bemerkung über die Wirkung und vortheilhafte Anwendung des Stoßhebers, Berlin 1805, beschrieben und abgebildet.

Von der Kunststange.

§. 185. Gestattet die Lage des Ortes es nicht, die bewegende Kraft in der Nähe einer Pumpe anzuwenden, und ist es der Fall, daß die Kraft nur in einer Entfernung auf die zu bewegende Last wirken kann, so werden Feld- oder Kunstgestänge angewandt, um die Bewegung, welche die Kraft bewirkt, durch Schub und Zug der Last mitzutheilen. Eine solche Einrichtung stellt die Fig. 162 dar. AB ist ein Theil der Kurbstange, welche unmittelbar an den von der Kraft in Bewegung gesetzten Krummzapfen befestigt ist. BD ist die Hauptschwinge oder der Hauptlenker, woran die Kunststange BC befestigt ist, welche durch die Zwischenschwingen oder Lenker EF, GH getra-

gen wird, und sich bei dem Kunstkreuze, bei welchem die Pumpenstange angebracht worden, endigt.

Die Kunststange wird aus gutem fichtenen Holze, 4 Zoll breit und 4 bis 5 Zoll hoch, aus einzelnen, 24 bis 30 Fuß langen, Stücken zusammengesetzt und mit Verkämmung oder durch zwei Bolzen nebst drei eisernen Ringen mit einander verbunden.

Endigt sich die Kunststange an einem Krummzapfen, einer Hauptschwinge oder einem Kunstkreuze, so erhält sie ein Scheereisen, mit einem Zapfenloche in demselben, Fig. 163. — Die Kunstkreuze können mit ihren Achsen eine horizontale oder verticale Lage erhalten, und werden im ersten Falle Kunstkreuze, wie die Fig. 164 darstellt, und im letztern Wendeböcke genannt. Diese Kunstkreuze werden an einer gemeinschaftlichen Welle angebracht, auch werden an demselben Kreuze, woran das Kunstgestänge angebracht ist, die Pumpenstangen aufgehängt.

Soll die Kunststange mit den Schwingen bergauf oder ab geführt werden, so werden da, wo die horizontale Richtung sich ändert, Bruchschwingen erfordert, welche im ersten Falle, wie Fig. 165 bei A, Zwillinge und im letztern Wendeböcke genannt werden. Um die durch Anbringung eines langen Gestänges mit einem verticalen Bruche entstehende Ungleichförmigkeit in Absicht des Widerstandes zu heben, wird ein doppeltes Gestänge angebracht, wie die Fig. 164 zeigt. Auch wird bei demselben in der Mitte des Gestänges ein Kunstkreuz oder Wendebock angebracht, um dem Uebergewichte der Last an der einen Seite vorzubeugen.

Von der Pumpen-Roßkunst.

§. 186. Das an einem Kunstkreuze befestigte Pumpenwerk wird gewöhnlich mittelst einer Roßkunst oder eines Pferdegöpels betrieben. Fig. 166 stellt die Einrichtung ei-

Digitized by Google

ner Pumpen-Roßkunst dar. Zwei mit eisernen Schrauben und Bändern verbundene, aus krumm gewachsenen Hölzern bestehende Zugbäume D und E, jeder wenigstens 15 Fuß lang, ruhen in ihrem Schwerpunkte genau auf der Achse eines 3 Zoll starken, mit einem runden Kopfe versehenen eisernen Zapfens, welcher vertical auf einer kurzen, mit Streben befestigten und auf einem Kreuzgestelle, — dessen Schwellen nicht zu kurz, aber wohl befestigt seyn müssen, — stehenden Säule befestigt ist, und in die in der Mitte bei den Zugbäumen angebrachten zwei metallenen Pfannen paßt, wovon die oberste so eingerichtet werden muß, daß der Zapfen mittelst einer kleinen Oeffnung in dieser Pfanne die nöthige Schmiere erhalten kann. In einer Entfernung von etwa 1½ — 2 Fuß von der Mitte des Zapfens geht ein zwei Zoll starker, und an dem einen Zugbaume befestigter eiserner Lenknagel F durch eine Kurbstange FG, die an der Schwinge HI befestigt ist. Von dieser geht eine darin angebrachte Lenkstange HK, welche an dem aufrechtstehenden Arme des Kunstkreuzes KL befestigt ist. Wie die Pumpenstangen M und N durch Umdrehung der Zugbäume in Bewegung gesetzt werden, läßt sich aus der Zeichnung leicht erklären.

Ist das Kunstkreuz von der Mitte des Zugbaums nicht über 20 — 24 Fuß entfernt, so ist eine einzige Lenkstange hinreichend, mittelst des Kunstkreuzes die Kolbenstangen in Bewegung zu setzen. Bei einer größeren Entfernung ist zwischen dem Kunstkreuze und der Lenkstange noch eine Kunststange nöthig. Hier ist nur eine Entfernung von etwa 40 Fuß angenommen.

Die Welle O des Kunstkreuzes kann, wenn Kraft genug vorhanden ist, mehrere Paar Pumpen treiben, in welchem Falle solche verhältnißmäßig länger wird, und mehrere Arme erhält, welches man sich ohne Abbildung leicht erklären kann.

Es können auch die Kolben mehrerer unter einander stehender Pumpen durch eine Pumpenstange zu gleicher Zeit

Digitized by Google

bewegt werden, wie die Fig. 167 zeigt. Das erste Paar schöpft das Wasser aus dem tiefsten Behälter A und gießt es in den höher liegenden B, aus diesem schöpft das zweite Paar Pumpen und gießt es in den Behälter D u. s. w. Werden hier einfache Saugwerke angebracht, so darf die lothrechte Höhe der Behälter, aus Ursachen, die bereits in dem Vorhergehenden erklärt worden sind, gewisse Gränzen nicht überschreiten. In der Ausübung aber bei Bergwerken, wo man das Wasser bisweilen mehrere 100 Fuß in die Höhe heben muß, wird der Ausguß über der höchsten Kolbenstange höher angelegt, als bei den gewöhnlichen Saugwerken, um eine größere Anzahl Pumpen zu ersparen. Es gehört aber dazu eine größere Kraft, um die über dem Kolben befindliche Wassersäule bei ihrem Aufgange bis zum Ausgußrohr zu heben. Solche Pumpen, welche das Wasser nicht blos saugen, sondern zugleich heben, heißen Saugpumpen mit hohen Satzen.

Die Aufhängepunkte der Schwengel bei D und E, Fig. 166, woran die Pferde ziehen, werden etwa $2\frac{1}{2}$ Fuß von dem Boden entfernt. Um den Gang der Pferde für den Zug leichter zu machen, muß der Boden so fest wie möglich gemacht werden. Auch muß die Kurbstange so hoch angebracht werden, daß sie den Pferden in ihrem Zuge nicht hinderlich ist.

§. 187. Wenn die Förderungshöhe H, die Weite der Pumpen D, bei cylindrisch gebohrten Röhren, oder bei viereckigen Pumpen die Seite vom horizontalen Querschnitte des Stiefels B, und die Höhe des Hubs gegeben ist, so findet man nach Eytelwein durch folgende Gleichung die Anzahl der Pumpen μ, welche durch 2 Pferde betrieben werden können

$$\mu = \frac{625}{HB\,(5\,B + 1)}$$

Bezeichnet C die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Pferde in einer Secunde bewegen, P den Weg, welchen

die Pferde während eines Umlaufs zurücklegen, so findet man die Zeit T, in welcher der Zugbaum einmal umläuft

$$\frac{P}{C} = T$$

Die Wassermenge M für eine Pumpe ist bereits gefunden

$$M = \tfrac{4}{6}\, hAb.$$

Wegen der 12 Kolbenzüge in einer Minute = 60 Secunden und der Zeit T, die auf einen Kolbenzug verwendet wird, verhält sich

$1 : n = T : 60$. Wird nun der gefundene Werth von T hierein substituirt, so erhält man

$$1 : n\frac{P}{C} : 60 \text{ und } n = \frac{C\,60}{P} \text{ daher}$$

$M = \tfrac{4}{6}\, Ab\, \frac{C\,60}{P}$ in welchem Ausdrucke b die Höhe des Kolbenhubes bezeichnet.

Für viereckige Pumpen ist $A = B^2$. Daher die Wassermenge für μ Pumpen in einer Minute

$$M = \tfrac{4}{6}\, \mu\, 6\, B^2\, \frac{C\,60}{P}$$

§. 188. Untersuchungen über die Bewegung des Wassers in Pumpen findet man in folgenden Schriften:

Discussion plus particulière des diverses manières d'élever de l'eau par le moyen des pompes avec le plus grand avantage par L. Euler. Mém. de l'acad. de Berlin, 1752. p. 149.

Maximes pour arranger le plus avantageusement les machines destinées à élever de l'eau par le moyen des pompes par L. Euler. Mém. de l'acad. de Berlin. 1752 p. 185.

De Borda, Mémoire sur les pompes. Mém. de l'acad. des sciences de Paris. Année 1768. p. 418 édit. Paris.

W. J. G. Karsten, Lehrbegriff der gesammten Mathe-

matik, 5 Th. Greifswalde, 1770, der XVII — XXIX. Abschnitt.

W. J. G. Karsten, Abhandlung über die vortheilhafteste Anordnung der Feuerspritzen, Greifswalde, 1773.

G. S. Klügel, von der besten Einrichtung der Feuerspritzen, Berlin 1777.

Du Buat, Hydraulique (1786) Part. I. Sect. IV. Chap. 8.

K. C. Langsdorf, Versuch einer neuen Theorie hydrometrischer und pyrometrischer Grundlehren, Frankf. und Leipz. 1787.

Desselben Hydraulik 1794.

A. G. Kästner, Anfangsgründe der Hydrodynamik, Göttingen 1797.

D. J. Baader, vollständige Theorie der Saug- und Hebepumpen, und Grundsätze zu ihrer vortheilhaften Anordnung. Neue Ausgabe, Baireuth 1820.

J. A. Eytelwein, Handbuch der Mechanik fester Körper und der Hydraulik, 2te Auflage, Leipzig 1823. 2te Abth. 16 — 19 Cap.

Ueber den Bau und die Anlage der Pumpen findet man in folgenden Schriften Nachricht.

J. Leupold, Theatrum machin. hydraul. Tom. I. Cap. XII und Tom. II. Cap. III — VIII und X.

H. Calvör historisch-chronologische Nachricht und Beschreibung des Maschinenwesens 1ster Thl., Braunschweig 1763. 2tes Cap. 2ter Abschnitt.

Belidor Architectura hydraulica, 1ster Thl. 3tes und 4tes Buch.

J. Baader, Theorie der Saug- und Hebepumpen.

D. Gilly und J. A. Eytelwein, praktische Anweisung zur Wasserbaukunst, Berlin 1818, 2tes Heft, 5ter Abschnitt. §. 88—98.

H. Mitterer, Anleitung zur Hydraulik für praktische Künstler und Werkmeister, München 1820.

Digitized by Google

Von der Wasserschnecke.

§. 189. Die Wasserschnecke, Fig. 168 A, gehört zu den ältesten Schöpfwerken. Man schreibt ihre Erfindung dem Archimedes zu, weswegen sie die Archimedische Schnecke genannt wird. Sie ist von zweierlei Gattung. Die eine Art wird eine Röhrenschnecke und die andere eine Tonnenmühle genannt. Die Theile, aus welchen die letztere bestehet, sind folgende:

1) Die Spindel, A, Fig. 168 A, eine 18 bis 24 Fuß lange und 6 bis 10 Zoll dicke, von weichem Holze zu machende, und sehr genau walzenförmig zu bearbeitende Welle, in welche zwei oder mehrere, etwa 1 Zoll tiefe und breite Rinnen schraubenförmig und mit einander gleichlaufend vom untern bis zum obern Ende eingeschnitten sind.

2) Die Splissen, B, welche aus 1 Zoll dicken eichenen Bretstücken bestehen. Diese werden in die Rinne eingelegt, so daß dadurch eine ebenfalls schraubenförmige gleich dicke Breterwand entsteht, deren äußerster Rand wieder in der Fläche einer Walze liegt. Es werden daher die Splissen überall aus der Spindel gleich weit, etwa 10—15 Zoll herausreichen, damit ihre am weitesten von der Achse der Spindel abstehenden Enden in der Oberfläche eines Cylinders liegen. Die Splissen oder Schaufelbreter werden entweder so eingestellt, daß sie einzeln mit ihren Ebenen senkrecht auf der Spindelachse stehen, wobei sie treppenförmig über einander zu stehen kommen, wie Fig. 169 zeigt, oder sie treffen mit ihren Fugen schräg gegen die Spindelachse so auf einander, daß sie eine gleich dicke Wand bilden, die schraubenförmig um die Spindel herum geht. Fig. 170 stellt eine solche Schnecke dar. Geht nur eine Reihe Schaufelbreter um die Spindel, so heißt die Schnecke eine einfache, gehen aber zwei oder drei Reihen Schaufelbreter gleich weit von einander um die Spindel, so

Digitized by Google

nennt man das eine Doppelschnecke oder eine dreifache Schnecke, oder eine Schnecke von zwei oder drei Gängen.

3) Der Mantel, welcher aus zweizölligen föhrenen Bretern gemacht wird, ist die Bekleidung des äußern Umfangs der Schnecke. Diese Bekleidung bedeckt die offenen Schraubengänge, so daß sie einen stetigen Kanal von unten bis oben bilden. Die Bekleidung muß wasserdicht seyn; daher wird sie an beiden Enden, die etwas dünner abgehobelt werden, etwa von 15 zu 15 Zoll, und in der Mitte in etwas größerem Abstande, mit eisernen Reifen umlegt.

4) Ein Balkenrahme, auf welchen die bedeckte Schnecke nach der Länge, zwischen zwei 6 bis 8 zölligen Balken, die oben und unten durch zwei dergleichen Riegel verbunden sind, gelegt wird. In diesen Riegeln sind die Pfannen befestigt, in welchen die an der Achse der Schneckenspindel oberhalb und unterhalb angebrachten eisernen Zapfen liegen. Diese in einem hölzernen Gestelle mit sämmtlicher Schaufelbekleidung um die Achse bewegliche Schnecke läßt man an einen Fangedamm oder an ein Bockgestelle anlehnen.

Die untere Oeffnung einer Schnecke heißt die Einmündung oder Einflußöffnung, und ihre obere die Ausmündung oder Ausflußöffnung. Diejenige Fläche, welche senkrecht auf der Achse der Spindel die Einflußöffnung in ihrem Schwerpunkte schneidet, ist die Grundfläche der Schnecke.

Der Abstand zwischen zwei Windungen, parallel mit der Achse genommen, ist die Höhe eines Schneckenganges. Die Weite einer Windung im Lichten, senkrecht auf den Bretern des Schneckenganges gemessen, ist die Höhe der Windungsweite, und die Länge der Splissen des Schneckenganges, so weit sie aus der Spindel hervorragt, ist die Breite der Windung.

Digitized by Google

§. 190. Soll eine Schnecken- oder Tonnenmühle zum Ausschöpfen des Wassers durch Menschen gebraucht werden, so wird die Schneckenspindel schief mit ihrem untern Ende ins Wasser gelegt. Am obern Ende wird an dem Zapfen eine Kurbel mit Drehkrücken angebracht, an welchen die Arbeiter die Schnecke umdrehen; denn das Drehen einer Kurbel in schiefer Stellung ist nicht nur sehr beschwerlich, sondern es geht auch dabei Kraft verloren. Dagegen kann man bei einer Kurbel mit Drehkrücken eine größere Zahl Arbeiter anstellen, welche bequemer und mit Vortheil ihre ganze Kraft darauf verwenden können. Die Drehkrücken sind 6 Fuß lange Stöcke, oben mit 12 Zoll langen Krücken und unten mit platten eisernen Ringen versehen, mit welchen sie an den Kurbelgriff gesteckt werden. Auf diese Art kann man bequem 4 bis 5 Mann dies- und jenseit des Griffes anstellen, welche nur wechselseitig zu ziehen und zu stoßen haben. Ihre Bewegung ist jedesmal nicht länger, als die doppelte Höhe des Kurbelarms.

In Belidors Wasserbaukunst 2ter Theil §. 224, wird einer andern Vorrichtung erwähnt, mittelst welcher die Schnecke durch einen in zwei Zapfen spielenden Schwungrahmen in Bewegung gesetzt wird, wobei noch zwei Schwungräder angebracht sind.

Bei der Umdrehung der Schnecke schöpfen die Kanäle oder Schneckenwindungen unten Wasser, das darin bei fortwährender Umdrehung steigt und sich oben ergießt. Damit aber die Schnecke den größten Effect leisten kann, darf die Einmündung nicht ganz in Wasser eingetaucht werden. Liegt der höchste Punkt der Einmündung unter der Oberfläche des Wassers, so kann die Schnecke keine Luft schöpfen, und die Windungen füllen sich nur, so weit sie unter dem Wasserspiegel liegt, nach hydrostatischen Gesetzen mit Wasser. Sobald durch einen beschleunigten Umlauf der Schnecke die Luft darin verdünnt wird, steigt etwas Wasser in den Windungen über den Wasserspiegel in die Höhe. Allein wegen des fortwährenden Druckes der Atmosphäre von oben nach

Digitized by Google

unten kann nur neues Wasser durch die verdünnte Luft schießen, und die obern Windungen bleiben auf diese Art mit Luft und Wasser gefüllt. Bei einer fortwährenden Umdrehung tritt allmälig die obere Luft durch die Wasserbogen nach den untern Windungen und setzt die verdünnte Luft zwischen den Wasserbogen mit der äußern ins Gleichgewicht. Allein nach jeden 3 oder 4 Umdrehungen strömt die Luft so heftig in die Ausmündung und durch alle Wasserbogen nach den untern Windungen hin, daß dadurch eine heftige Erschütterung entsteht, welche die Ausflußmenge vermindert. Liegt hingegen der höchste Punkt der Einmündung über dem Wasserspiegel, so schöpft sie Luft und es wird jene Erscheinung aufgehoben. Man läßt daher die untere Oeffnung in dem obern Theile ihres Umlaufes über dem Wasserspiegel hervortreten, in welchem Falle Luft und Wasser eine gleichförmige Bewegung von unten nach oben hin erhalten wird. — Nach den von Eytelwein (Handb. der Mechanik und Hydraulik, 1823, II. Abth. §. 264) angestellten Versuchen ist der Effect einer Schnecke am größten, wenn der Wasserspiegel 1,7 Zoll unter dem höchsten Punkte der Grundfläche steht; und um die Entfernung des höchsten Punktes = g in der untern Fläche von dem Wasserspiegel allgemein zu bestimmen, giebt derselbe die Formel

$$g = R : \text{Sin . vers . d.}$$

in welchem Ausdrucke g den Punkt der Grundfläche am Radius der Spindel, welcher den Wasserspiegel erreicht, R den Halbmesser der Spindel und d denjenigen Bogen für den Halbmesser, welcher zum Bogen im ersten Quadranten der centrischen Linie gehört, bezeichnet.

§. 191. Wenn die Schnecke Wasser schöpfen soll, so muß der Windungswinkel $dcm = \beta$, Fig. 171, welchen der Schraubengang mit der auf der Spindelachse senkrechten Fläche bildet, nebst dem Standwinkel $a'cg = \alpha$, welchen die Spindelachse mit dem Horizonte macht, immer kleiner als 90° seyn; denn in den Fällen, wo der Windungs- und Standwinkel zusammen einen rechten Winkel ausma-

Digitized by Google

chen, oder noch größer sind, kann die Schnecke kein Wasser schöpfen. Je größer β wird, um so kleiner muß a werden und umgekehrt; im letzten Falle erhält man zwar eine größere Förderungshöhe a' g, aber das Volumen des gehobenen Wassers erfordert eine größere Kraft an der Kurbel.

Es kommt also darauf an, für a und β diejenigen Werthe zu wissen, welche für die Ausübung am vortheilhaftesten sind. Langsdorf läßt die Schraubenlinie auf 10″ Länge um 3″ steigen.

Macht also $\beta = 18°$, dann setzt er a $= 36°$, wobei ag $= \frac{1}{5}$ ac also ac $= \frac{1}{5}$ ag. Setzen wir demnach ac $= 8'$, so wäre ag $= 4,8'$ Förderungshöhe.

Bei einer Länge von 8 Fuß giebt man einer Tonnenmühle höchstens mit der äußern Kleidung 18″ Durchmesser.

Perronet bediente sich einer solchen Tonnenmühle, welche unter einem Winkel von 30° lag, die das Wasser 3 Fuß 6 Zoll aufförderte und von zwei an einer Kurbel angestellten Arbeitern umgedreht wurde. Bei heftiger Anstrengung der Arbeiter wurden 30 Umdrehungen in einer Minute gemacht, und 9 Kubikfuß Wasser aufgefördert, welches nur 540 Kubikfuß in der Stunde giebt. Demnach wäre der Effect dieser Maschine in einer Minute

$$MH = 15,7\ N$$

wenn M die in einer Minute gehobene Wassermenge, H die Höhe, auf welche das Wasser gehoben wird, und N die Anzahl der Arbeiter bezeichnet.

Eytelwein machte mit einer Schnecke, welche nach Art der Tonnenmühle gearbeitet war, Versuche. Die Schnecke hatte folgende Abmessungen. Um eine 2,7 Zoll dicke Spindel gingen 18 Windungen. Die Breite der Schneckenbreter vom Umfange der Spindel bis zur Bekleidung, oder die Breite der Windungsweite, war 1,62 Zoll, so daß der Durchmesser der Schnecke im Lichten 5,94 Zoll betrug. Die Schneckenbreter hatten eine Dicke von $\frac{1}{4}$ Zoll und bei zwei Einflußöffnungen oder doppelten Windungen war die Höhe

Digitized by Google

einer Windungsweite 1,15 Zoll und die Höhe des Schneckenganges 2,8 Zoll. Die Schnecke lag unter einem Neigungswinkel von 50°.

Aus den damit angestellten Versuchen ergab sich, daß, wenn der Wasserspiegel 1,7 Zoll unter dem höchsten Punkte der Grundfläche stand, alsdann bei 85 und 98 Umdrehungen in der Minute die größte Wassermenge auf eine Umdrehung war:

19,6 Kubikzoll.

Dieses stimmt auch so genau, wie möglich, mit der von Eytelwein gegebenen Theorie überein (S. Eytelwein's Handbuch der Mechanik und Hydraulik, 1823, II. Abth. §. 264).

§. 192. Wenn a den Windungswinkel der Schnecke, β den Standwinkel, M die Wassermenge, welche eine Schnecke in einer Minute ausgießt, m die Anzahl der Umläufe in dieser Zeit, α die Höhe der Windungsweite, b die Breite des Schneckenganges im Lichten und L die Länge des wasserhaltenden Bogens bezeichnet, so ist nach Eytelwein

$$M = m \alpha b L$$

Bezeichnet ferner

ν die Kraft, welche in der Entfernung r von der Spindelachse wirkt;

μ die Anzahl der Gänge von der Schnecke;

e die Höhe eines Schneckenganges;

$\gamma = 66$ Pfund, das Gewicht von einem Kubikfuß Wasser,

so ist, mit Beiseitesetzung der Nebenhindernisse, nach Eytelwein

$$\nu = \frac{\gamma}{2\pi} \cdot \frac{\mu e M}{rm} \cdot \text{Sin } \beta = 10{,}504 \frac{\mu e M}{rm} \text{ Sin } \beta$$

Mehrere Mathematiker haben sich beschäftigt, eine Theorie für die Bestimmung der Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser in jedem Augenblicke in der Schnecke, vermöge der in derselben wirkenden beschleunigenden Kraft, fortfließen muß, aufzustellen. Langsdorf sagt aber, in seinem Lehrbuche der Hydraulik §. 574, daß diese Theorie für die Aus-

Digitized by Google

übung sehr entbehrlich und ohne allen Nutzen sey; es ist nur nöthig, die Umdrehungsbewegung so einzurichten, daß die gesammte Umlaufszeit nicht zu gering ausfällt. Mit Rücksicht hierauf ist die für die Bestimmung der Wassermenge sehr weitläufige Rechnung ausgelassen.

Wünscht man indessen eine ausführliche Berechnung über den Effect der Wasserschnecke, so findet man diese in nachstehenden Schriften:

Pitot, Théorie de la vis d'Archimède avec le calcul de l'effet de cette machine. Mém. de l'acad. des sciences, année 1736. p. 238 etc. à Amsterdam 1740.

Bernoulli, Hydrodynamica sive de viribus et motibus fluidorum commentarii. Argentor. 1738, p. 183. etc.

L. Euler, de cochlea Archimedis. Comment. Nov. Petrop. T. V. ad An. 1754 et 1755. p. 295.

J. F. Hennert, Dissertation sur la vis d'Archimède; à Berlin 1767

Karsten, Lehrbegriff der Mathematik, 6ter Th. 26ster und 27ster Abschn. S. 60 u. f.

Langsdorf, Lehrb. der Hydraulik. Cap. 28. S. 557.

Eytelwein, Lehrb. der Mechanik ꝛc. 21stes Cap.

Woltmann, Beiträge, 4ter Bd. S. 214.

§. 193. Es können die Schaufelbreter, wie bereits erwähnt worden, entweder senkrecht auf der Spindelachse oder schräg gegen die Spindelachse zu stehen kommen. Im erstern Falle werden sie treppenförmig über einander eingestellt, im letztern Falle bilden sie eine gleich dicke Wand, die schraubenförmig um die Spindel herumgeht.

Ueber den Bau der Wasserschnecke haben Vitruv, Gilly und Eytelwein, Wiebeking, L. F. Wolfram und Leupold Anweisung gegeben. Um eine Schnecke mit treppenförmigen Schaufeln zu verfertigen, welches die leichteste Art der Verfertigung ist, giebt Wolfram folgendes Verfahren an. „Die Spindel wird nach Fig. 169 zuerst an beiden Enden lothrecht auf die Achse abgeschnitten, dann werden, wenn

Digitized by Google

die Spindel wagerecht gelegt ist, auf diesen beiden lothrechten Hirnflächen durch den Achspunkt c die geraden Linien 16 bis 8 herunter gelothet. Der Umfang wird nun vom obersten Punkte aus in 1, 2, 3 u. s. w. in so viele gleiche Theile getheilt, als jede Windung des Schneckenganges einzelne Schaufeln erhalten soll, z. B. hier in 16. Durch Schnurschläge werden sodann die gleichnamigen Punkte 1,1, dann 2,2, dann 3,3 u. s. w. von einem Ende bis zum andern auf der Spindeloberfläche verbunden. Ist nämlich 0′ 1′ die Dicke der Schaufel, und 0′ m′ die gegebene Höhe des Schneckenganges, d. h. die Weite des Schneckenganges, gleichlaufend mit der Spindelachse gemessen, so dividirt man mit der Schaufeldicke (z. B. 1″) in die Höhe des Schneckenganges (z. B. 16″), so erhält man die Schaufelbreite. Bleibt dabei ein Bruch, so muß danach entweder die Schaufeldicke oder die Schneckengangshöhe abgeändert werden, damit eine ganze Zahl herauskomme.“

„Man fange nun bei 0′ an, und trage die Breitenbicke 0′, 1′ so oft nach 2′ 3′ 4′ 5′ u. s. w., als der Spindelumlauf Theile erhält, also hier 16, so erhält man zugleich die Höhe des Schneckenganges. Trägt man nun die Länge 0′ 1′ von 0″ nach 1″ und von 0‴ nach 1‴, dann die Länge 0′ 2′ von 0″ nach 2″, von 0‴ nach 2‴ und von 0⁗ nach 2⁗, ebenso die Länge 0′ 3′ von 0‴ nach 3‴ von 0⁗ nach 3⁗ und 0⁗⁗ nach 3⁗⁗ und so fort, so erhält man die rechteckigen Flächen 0′ 1′ 0″ 1″, ferner 1″ 2″ 1‴ 2‴, ferner 2‴ 3‴ 2⁗ 3⁗, ferner 3⁗ 4⁗ 3⁗⁗ 4⁗⁗ u. s. f. Diese Rechtecke, worin die Seiten 0′ 0″, 1′ 1″, 1″ 1‴, 2″ 2‴ u. s. w. Bogen gleichlaufend mit 16—15, 15—14 u. s. f. sind, werden dann nach O Fig. 165 B etwa 3″ tief ausgestemmt, nachdem sie zuvor bis XX dann X′ X′, dann X″ X″ u. s. w. um so viel erweitert wurden, als jede höher stehende Schaufel die nächst tiefere überdecken soll.“ Wie diese Schaufelung von der Seite anzusehen ist, zeigt Fig. 168 A, wo ein Theil des Mantels abgebrochen erscheint. Fig. 168 B ist die Ansicht in der Richtung der Spindelachse.

Digitized by Google

„Wenn die Zapfenlöcher für eine Schneckenwindung, Fig. 169, einmal beſtimmt ſind, ſo geſchieht die Fortſetzung der übrigen Schneckenwindungen auf folgende Weiſe. Man nimmt die Höhe des Schneckenganges 0′ m und trägt ſelbige aus den Punkten 0′, 1′, 0″, 1″, 2″, 1‴, 2‴, 3‴, 2⁗, 3⁗ in die Punkte m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, u. ſ. f. über, dann wieder von dieſen Punkten des zweiten Ganges in die Punkte des dritten Ganges.“ Sollen aber die Schaufelbreter nach Fig. 170 ein gleich dickes Gewinde bilden, ſo muß zuerſt die Breite der Schaufelbreter, ſowohl am Umfange der Spindel, als an der äußern Bekleidung beſtimmt werden. Ueber die Art, auf welche eine ſolche Schnecke verfertigt wird, giebt Eytelwein in der angef. prakt. Anweiſung, 2tes Heft §. 81 folgendes Verfahren an.

„Geſetzt, man will in eine 12″ dicke Spindel auf jeden Schneckengang 16 Schaufelbreter ſetzen, welche 12″ aus der Spindel hervorſtehen, wenn die Höhe eines Schneckenganges 18″ beträgt, ſo nehme man den Durchmeſſer der Schnecke im Lichten von 36″ und dividire denſelben durch 16, als die Anzahl der Schaufelbretter, welches 2¼ Zoll giebt. Dieſe 2¼″ trage man auf eine gerade Linie aus A nach B Fig. 172, beſchreibe darüber einen Halbkreis, nehme BD dem Halbmeſſer BC gleich und ſetze AD von A nach E. Auf eine andere Linie FG, Fig. 173, ſetze man 3. AB + EB aus F nach G, ſo iſt FG nahe genug der Peripherie eines Kreiſes, deſſen Durchmeſſer AB iſt. Auf FG errichte man in G die ſenkrechte Linie GH und nehme GH = 1⅛″, welche man findet, wenn die Höhe des Schneckenganges von 18″ durch die Anzahl der Schaufelbreter eines Ganges dividirt wird, ſo iſt FH die Breite eines Schaufelbretes, am innern Umfange der Schnecke gemeſſen, oder die Länge des Bogens, welcher den äußerſten Theil des Schaufelbretes abrundet. Weil die Dicke der Spindel der dritte Theil von der Weite der Schnecke im Lichten iſt, ſo nehme man FK = ⅓FG und ſetze auf das Loth KL die Höhe GH, ſo iſt FL die Breite eines Schaufelbretes am

Digitized by Google

Umfange der Spindel. Stellt man sich vor, daß die fertige Schnecke senkrecht gestellt werde, so giebt die Lage der Linie FH gegen FG die Neigung des äußern Randes der Schaufelbreter gegen den Horizont, und FL gegen FK die Neigung der Schaufelbreter am Umfange der Spindel gegen den Horizont an. Nun ist es leicht, ein Schaufelbret, als Lehre zur Verfertigung der übrigen, auszuarbeiten. Man nehme ein ebenes rechtwinkeliges Stück einer Bohle, so daß seine Dicke außer der Höhe GH noch so viel dicker ist, als die Dicke eines Schaufelbretes betragen soll, also $1\frac{1}{2} + 1 = 2\frac{1}{2}$ Zoll."

„Wird nun auf dem Brete die Linie CM Fig. 174 gezogen von C bis P, der Halbmesser der Spindel von 6 Zoll von P bis M, die Länge der Schaufelbreter außerhalb der Spindel, hier 12 Zoll, gesetzt, alsdann der Bogen MN aus dem Mittelpunkte C geschlagen und auf diesem MN = FG genommen, so kann, wenn vorher der Bogen PO mit dem Halbmesser CP geschlagen ist, das Bretstück MNOPQRS ausgearbeitet werden. Man nehme ferner NU = OV = QT = XW = GH, ziehe die Linie UV und TW, und mit einem Fischbeinlineal die Bogen MU, TR, PV, WS, so läßt sich nach diesen Linien der Keil MNUVOP und TQRS abarbeiten und man behält die Lehrschaufel PMUVSRT, nach welcher leicht alle übrigen verfertigt werden können. Weil aber MP nur die Länge der Schaufel ist, so weit solche aus der Spindel hervorragt, so muß bei der Bearbeitung der übrigen Schaufeln, bei PV, noch ein Ende von etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll lang als Zapfen zum Einsetzen in die Nuthen der Spindel stehen bleiben."

Anmerk. Wiebeking beschreibt in seiner angeführten Wasserbaukunst, 4ter Bd. S. 205 u. f. eine von Weidenthal erfundene Tonnenschnecke und sagt, daß die Wirkung der verbesserten Einrichtung in Rücksicht der Anwendung der Kraft den Erwartungen vollkommen entspricht. Wenn bei einer gewöhnlichen Schnecke von 18′ Länge und 1′ im Durchmesser 8 Mann und mit der zweistündigen Ablösung 16 Mann gebraucht werden, so erfordert diese nur 2 Mann und mit der

Ablösung 4. Auch soll diese Maschine etwa 2½ Mal mehr Wasser als die gewöhnliche Tonnenmühle fördern.

§. 194. Die zweite Art von Schnecken, welche Röhrenschnecke genannt wird, erhält man, wenn nach denselben Gesetzen, wie man um die Spindel einer Schraube die Schraubengänge zeichnet, außen um eine sehr genau bearbeitete walzenförmige Spindel ein Kanal, etwa eine gleich weite metallene hohle Röhre, in einer Schneckenlinie herumgedreht wird. Die untere Oeffnung heißt die Einflußmündung und die obere die Ausflußöffnung, ebenso wie bei der Tonnenmühle.

So vielmal die Röhre um die Spindel gewunden ist, soviel Windungen hat die Schnecke, und wird danach eine einfache, doppelte oder dreifache Schnecke genannt.

Uebrigens sind die oben für die Tonnenmühle angeführten Regeln und Gesetze in Absicht der Lage und in Beziehung auf den Effect auch für die Röhrenschnecke geltend.

Von der Wasserschraube.

§. 195. Eine Wasserschraube wird auf dieselbe Art wie die Tonnenmühle, in Bezug auf ihre Spindel und Schaufelbreter, eingerichtet und verfertigt. Sie unterscheidet sich aber dadurch von der Tonnenmühle, daß bei ihr der Mantel (Trog oder Kumme genannt), welcher oben der Länge nach um ¼ ausgeschnitten wird, fest liegt, wogegen sich die Spindel mit sämmtlicher Schaufelbekleidung um ihre Achse dreht. Die Schaufelwindungen müssen 1½ bis 2 Linien von dem nach einem Halbkreis ausgehöhlten festliegenden Trog oder Kumme stehen, damit die Wasserschraube frei und ohne anzustoßen bewegt werden kann.

Damit nun das aufsteigende Wasser nicht über den Kummen läuft, so muß die Wand des Kummens, an welcher das Wasser aufsteigt, höher als die andere seyn. Bei dem untern Zapfen kann diese Steigewand eine gleiche Höhe

Digitized by Google

mit dem Zapfen haben, muß aber beim obern Zapfen 1½ bis 2 Zoll höher seyn.

Der Trog oder Kumme kann entweder von Holz gemacht, oder von Ziegelsteinen und Mörtel gemauert werden. Die Verfertigung desselben muß aber mit besonderer Genauigkeit geschehen, damit der Spielraum weder zu klein noch zu groß wird.

Da die Schraubengänge an der offenen Stelle dem Zutritte der Luft ausgesetzt sind, und selbst, wenn die Wasserschraube bekleidet ist, die Luft zwischen der Bekleidung und den Schraubengängen sich hineindrängen und diese Zwischenräume ausfüllen kann, so kann die Lage der Wasserschraube, in Beziehung auf ihre Grundfläche, man mag diese allein oder auch mehrere Windungen der untern Schraubengänge unter den Wasserspiegel bringen, keinen Einfluß auf ihren Effect haben, wenn nur der wasserhaltende Bogen nicht aus der Oberfläche des Wassers kommt.

Nach Eytelweins aus mehreren Angaben gefolgerten Resultaten giebt die Schraube bei 28 Umdrehungen der Kurbel oder 42 Umläufen der Schraube in der Minute noch kein Wasser; allein die größte Wassermenge auf eine Umdrehung wird erhalten, wenn die Schraube in der Minute etwa 159 Umläufe macht, und zwar

3,6 Kubikzoll.

Eytelwein sagt, daß bei einem unveränderlichen Wasserstande des Sumpfs, unter übrigens gleichen Umständen, die Wasserschnecke auf alle Weise der Wasserschraube vorzuziehen ist, sobald nur der Wasserspiegel gegen den Normalpunkt der Schnecke steht. Hingegen ist bei einem veränderlichen Wasserspiegel die Wasserschraube, deren Spielraum nicht zu groß ist, der Schnecke vorzuziehen, wenn nicht die Einflußöffnung der Schnecke verhältnißmäßig erhöht oder erniedrigt werden kann. Gewöhnlich stellt man die Schnecken so, daß ihre Achse mit dem Horizonte einen Winkel von 45 bis 60°, die Schrauben aber einen Winkel von 30° einschließen.

Digitized by Google

Wiebeking behauptet, daß unter allen Schöpfmaschinen, welche durch die Kräfte des Windes, des Wassers, der Thiere und Menschen in Bewegung gesetzt werden, die Wasserschraube die vorzüglichste und der Tonnenmühle schon deswegen weit vorzuziehen sey, weil dabei die Last der Tonne nicht zu überwinden sey, und die Schraubengänge nicht mit Steinen, Schlamm und Wurzelwerk angefüllt werden können, indem man solches gleich gewahr wird und augenblicklich herausnehmen kann.

Nach den von Wiebeking angestellten Versuchen giebt die Schraube bei 90 Umgängen 4,1 wiener Kubikfuß Wasser in einer Minute.

Sowohl die Schnecke als die Schraube können mittelst eines Wasserrades oder durch andere Arten von Bewegungskräften betrieben werden. Im erstern Falle wird das Rad, welches in das an der Spindel der Schnecke oder Schraube angebrachte Getriebe oder Trilling eingreift, ein Mittelding zwischen einem Sternrad und einem Kammrad, indem die äußere Fläche, auf welcher die Kämme senkrecht stehen, weder mit der Achse des Wellbaums einen rechten Winkel machen, noch mit solcher parallel laufen darf, sondern mit ihr einen schiefen Winkel machen muß, wie die äußere Fläche eines abgekürzten Kegels. Fig. 175 stellt eine solche Einrichtung dar.

Anmerk. Die beste und deutlichste Zeichnung der von den Franzosen Hollandaise genannten Wasserschraube findet man in Hatchette Traité élémentaire des machines pag. 88. Auch findet man daselbst nähere Anleitung zur Verzeichnung der Schraubengänge.

Von den Schöpf- und Wurfrädern.

§. 196. **Schöpfräder** sind solche Räder, welche das Wasser unten an ihrer Peripherie einschöpfen, und entweder an der Achse oder an der Peripherie oben wieder ausschütten. Die ersten heißen **Schnecken-, Trommel-** oder

Digitized by Google

Zellenräder und heben das Wasser zu einer dem Radius des Rades gleichen Höhe; die letztern sind Räder mit hängenden Eimern oder Räder mit Schöpfkasten, welche das Wasser zu einer beinahe dem Durchmesser des Rades gleichen Höhe heben.

Fig. 176 A, stellt das Zellenrad und Fig. 177 das Rad mit hängenden Eimern dar. Die Zellenräder bestehen, wenn sie durch das Gewicht der Menschen oder Thiere mittelst Auftretens oder Niederdrückens in Bewegung gesetzt werden, aus zwei Rädern, nämlich aus dem mit spiralförmigen Zellen, Fig. 176 A und bc Fig. 176 B, versehenen Schöpfrade, deren Mündungen beim tiefsten Stande das Wasser schöpfen, welches während einer Vierteldrehung des Rades vermöge seiner Schwere in den Zellen fortläuft, bis es seinen Abfluß findet. Um den hohlen und unbeweglichen Theil der Welle, wodurch ein Zapfen geht, bewegt sich die Trommel a Fig. 176 B und die darüber passenden spiralförmigen Zellen. Beides wird am besten aus Blei gemacht.

Wenn das Schöpfrad mittelst Niederdrücken bewegt wird, so erhält es an beiden Seiten Handhaben, wie Fig. 176 B zeigt. Wird dasselbe aber mittelst Auftreten herumgedreht, so ist das Zellenrad an einem gewöhnlichen Tretrade befestigt, welches zugleich die Steifigkeit der ganzen Maschine bewirkt. Eine Abbildung der Einrichtung, welcher Perronet sich bei dem Brückenbau bediente, findet man auch in Wiebekings Wasserbaukunst, 4ter Bd. Taf. 88, Fig. 3. 6 und 7 dargestellt. Es waren an jeder Seite des Rades 6 Mann angestellt, welche die angebrachten Sprossen mit den Händen nach und nach herunterdrückten.

Dieses Zellenrad gab auf 8 Fuß Förderungshöhe folgenden Effect. Waren die Zellen 12 Zoll eingetaucht, so geschah die Umdrehung des Rades zweimal in der Minute, bei jeder Umdrehung gossen 24 Zellen, von welchen jede $1\frac{1}{2}$ Kubikfuß Wasser schöpfte, also war der Effect der Maschine in einer Stunde $1\frac{1}{2} . 24 . 2 . 60 = 4320$ Kubikfuß. Wa-

Digitized by Google

ren dagegen die Zellen nur 3 Zoll eingetaucht, so geschahen die Umdrehungen des Rades 3 Mal in der Minute, bei jeder Umdrehung gossen 24 Zellen, von welchen jede Zelle $\frac{1}{4}$ Kubikfuß schöpfte, also war der Effect in einer Stunde 2160 Kubikfuß.

Eine andere Art Zellenrad ist das von einem Franzosen de la Faye angegebene und von Belidor mitgetheilte, das eigentlich sogenannte Schneckenrad. An dem Kreuz eines unterschlächtigen Wasserrades werden schneckenförmig gewundene wasserdichte Röhren BCA, Fig. 178, angebracht, deren Mündung bei dem tiefsten Stande des Wassers schöpft, welches alsdann, während das Rad nach der Richtung BDEC umgetrieben wird, in die Röhre vermöge seiner Schwere fortläuft, bis es sich bei A in eine, um die Achse angebrachte hohle Trommel ergießt, durch die es längs der Achse des Rades seinen Abfluß findet —

Wenn das Wasser während des Aufsteigens in der Röhre von B nach D, E stets ein gleiches Moment behalten soll, so müssen die schneckenförmigen Röhren nach einer Cycloide gewunden seyn, welche durch Abwickelung des Umfangs der Trommel entsteht. Es verhält sich bei diesem Schöpfrad der Weg der Kraft $= \nu$ zum Wege der Last $= Q$, wie der Umfang zum Halbmesser des Rades, oder

$$\nu : Q = 2 . 3, 14 : 1$$

§. 197. Die zweite Gattung von Schöpfrädern sind diejenigen mit beweglichen oder unbeweglichen Eimern. Es werden im ersten Falle an dem Radkranz eines unterschlächtigen Wasserrades, Fig. 177, bei abcde u. s. w. eiserne Zapfen eingeschlagen, an welchen prismatische Kasten oder Eimer so aufgehängt werden, daß sie sich in einer mit der Ebene des Rades parallelen lothrechten Ebene um die Zapfen a, b, c, d drehen können. Das gegen die Schaufeln des Rades strömende Wasser treibt das Rad in der Richtung CD um, und dabei muß die Einrichtung so getroffen seyn, daß sich der an der tiefsten Stelle des Rades befindliche Kasten mit Wasser füllt. Die gefüllten Ka-

Digitized by Google

sten steigen auf der Seite des Rades bcde in die Höhe; bei e stößt der gefüllte Kasten an ein Hinderniß, wendet sich dadurch um seinen Zapfen und gießt das Wasser in die zur Seite des Rades angebrachte Abflußrinne AB. Sind die Eimer unbeweglich, so behalten die Wasserkasten eine schiefe Stellung, weshalb auch in diesem Falle viel Wasser verloren geht. Um das Verhältniß zwischen Kraft und Last an dem Schöpfrade mit beweglichen Eimern zu bestimmen, nehme man an, daß die an der halben Rad-Peripherie befindlichen Eimer gefüllt aufsteigen, indeß eine gleiche Zahl an der andern Hälfte des Rades leer niedergeht. Ist nun, wie vorausgesetzt wird, das Rad mit den leeren Eimern im Gleichgewichte, so ist die Last dem Gewichte der in der halben Zahl der Eimer befindlichen Wassermasse gleich. Bezeichnet P das Gewicht eines Eimers voll Wasser, n die halbe Zahl der Eimer, so erhält man die gesammte Last $Q = nP$. Da die Last von a bis e den Durchmesser des Rades zurücklegt, während dessen die Kraft $= K$ den halben Umfang des Rades beschreibt, so hat man das Verhältniß von Kraft zur Last $K : Q = 2 : 3{,}14 = 0{,}637 : 1$ also $K = 0{,}637\ nP$ und $P = \frac{K}{0{,}637\ n}$, welches die Größe eines Eimers aus der zu fassenden Wassermenge und der Zahl der Eimer bestimmt.

Bezeichnet nun t die halbe Umlaufszeit des Rades, so erhält man die in einer bestimmten Zeit T durch das Schöpfrad gehobene Wassermenge

$$= \frac{T}{t}\ n\,.\,P$$

Es ist freilich die Last etwas kleiner als n P, weil das Gewicht des Wassers im Eimer, so lange er unter Wasser getaucht ist, nicht in Anschlag kommt. Man kann indessen den Ausdruck beibehalten, da die Kraft zur Hervorbringung der Geschwindigkeit und Ueberwindung der Trägheit nicht in Rechnung gebracht worden ist. Auch ist das Moment der Kraft veränderlich, bei a und e am kleinsten, bei c am

Digitized by Google

größten, indessen kann man das mittlere Moment der gesammten Last als unveränderlich ansehen.

Die Kraft hat bei dem Schneckenrade ein doppelt so großes Moment, als bei den Schöpfrädern mit beweglichen Eimern, dagegen hebt das Schneckenrad bei gleichem Durchmesser das Wasser nur halb so hoch. Dies und der Umstand, daß die gewundenen Röhren der Bewegung des Wassers vielen Widerstand darbieten, der noch durch die mit dem Wasser zugleich geschöpfte Luft vermehrt wird, so wie auch die höhern Anlegungs = und Unterhaltungskosten sind Ursache, daß man den Schöpfrädern mit beweglichen Eimern vor jenen den Vorzug giebt.

Man kann auch dem Wasserrade mit Schöpfkasten zwei Kränze geben, d. h. ein Staberrad einhängen und an beiden Seiten Schöpfkasten anbringen; alsdann werden zwei Ausgußrinnen errichtet. Perronet bediente sich einer ähnlichen Einrichtung beim Ausschöpfen des Wassers aus den Baustellen der Brücken von Orleans und Neuilly. Die Maschinerie derselben ist von ihm in seinem Werke, Tom. 1. p. 39, beschrieben und abgebildet. Auch findet man in Wiebekings angef. Wasserbaukunst, 4ter Bd. S. 184 u. f., eine Beschreibung von der Maschinerie nebst Abbildung. Perronet zieht dieselbe in Rücksicht des ökonomischen Effects allen übrigen von ihm gebrauchten Maschinen vor. Er giebt den Effect des bei Neuilly gebrauchten Schöpfrades zu 5400 Kubikfuß in einer Stunde (12 Fuß hoch) an.

§. 198. Es giebt noch eine andere Einrichtung von dieser Art Räder, welche in Italien, Tyrol und China gebraucht werden. Das einfachste Rad dieser Art ist das chinesische, welches auch zum Ausschöpfen der Baustellen gebraucht wird, wo es durch ein Wasserrad in Bewegung gesetzt werden kann. Die Achse dieses Schöpfrades muß auf Pfählen von hartem Holze ruhen. Der Umfang des Rades besteht aus einem doppelten Kreise von Felgen, wovon der eine, und zwar der nach dem Ufer oder der Ausgußrinne zugekehrte, kleiner im Durchmesser ist, als der an-

Digitized by Google

dere. Die Radarme halten die beiden Kränze des Rades und durchkreuzen sich, indem sie die triangelförmigen Schaufeln bilden, die von Bambusrohr geflochten sind. Die Schöpfbütten, welche von einem Kranze zum andern, und zwar geneigt unter einem Winkel von 25° liegen, sind von Bambusrohr ausgehöhlt. Indem das Rad herumgetrieben wird, füllen sich die Bütten, und wenn sie oben kommen, so leeren sie sich vermöge ihrer Lage in die Rinne. Die Radarme, welche gleichfalls von Bambusrohr sind, erhalten durch einen dritten Kranz mehr Steifigkeit. Wiebeking giebt eine Abbildung davon auf der Taf. 91. Fig. 30.

Dieser Einrichtung ist, was das Schöpfmanöver anbetrifft, das große Wasserrad in Bremen, welches in Büsch's Wasserbaukunst beschrieben ist, sehr ähnlich, nur daß die Schöpfbütten viereckig und unter den Felgen oder den zwei Kränzen des Rades angebracht sind.

§. 199. Die Wurfräder, welche zur Austrocknung niedriger Ländereien dienen, und gewöhnlich durch ein Vorgelege mit Windmühlenflügeln in Bewegung gesetzt werden, theilt man in vertical und schief liegende.

Ein vertical stehendes Wurfrad ist in Fig. 179 abgebildet. An der viereckigen Welle sind 4 Kreuzarme befestigt, welche zugleich 4 Wurfschaufeln bilden. Von jedem Arm zum andern geht ein viereckiges Holz, welches etwas breiter ist, als die Schaufeln sind, in welchem die Schaufeln mit Schwertbändern befestigt werden, und längs diesen kommen die gebogenen Gurtungen. Das Wurfrad bewegt sich in einem Gerinne, dessen Boden und Wände etwa ein bis zwei Zoll Spielraum lassen. Die Schaufeln haben eine Breite von etwa 1½ Fuß und sind 2 Zoll stark. Gegen den Halbmesser erhalten sie eine etwas geneigte Lage. Der Durchmesser oder die ganze Höhe des Rades ist 15 bis 20 Fuß. Um dem Wasser einen freien Zutritt in die Rinne zu verschaffen, erhält dieselbe vor dem Rade Flügelwände. Von der Mitte des Rades nach vorn zu ist eine Kröpfung oder ein Aufleiter DB, welche nach der

Höhe des fortzuschaffenden Wassers eingerichtet wird. Längs diesem Aufleiter wird das Wasser in dem Abflußgraben fortgeleitet, und damit das Außenwasser nicht zurücktrete, wenn das Wasser still steht, so ist an der Gießsäule B eine Wachtthür angebracht, die sich, wenn das Rad im Gange ist, nach außen öffnet und beim Stillstande verschließt.

Eytelwein giebt in seinem angef. Handbuche der Mechanik u. s. w. §. 271 eine Berechnung über den Effect dieser Maschine und über die zur Umdrehung des Rades erforderliche Kraft, deren Resultate ich hier anführen werde.

Wenn sich das Wurfrad umdreht, so wird das zwischen den beiden tiefsten Schaufeln befindliche Wasser nach dem Aufleiter gehoben; daher findet man die bei jeder Umdrehung gehobene Wassermenge, wenn der Querschnitt der eingetauchten Schaufeln mit demjenigen Kreise multiplicirt wird, welcher durch die Schwerpunkte aller eingetauchten Schaufelstücke geht, vorausgesetzt, daß die Schaufeln keine Dicke hätten, und kein Spielraum zwischen der Kröpfung und den Schaufeln vorhanden wäre. Bezeichnet

- a die Höhe der vertical eingetauchten Schaufeln;
- b ihre Breite;
- r den Halbmesser des Rades bis zum Schwerpunkte der eingetauchten Schaufeln;
- t die Zeit einer Umdrehung;
- k den körperlichen Inhalt sämmtlicher Schaufeln, so weit sie ins Wasser treten;
- q den Verlust von dem gehobenen Wasser wegen des Spielraums bei einer Umdrehung;
- M die Wassermenge in einer Minute;

ferner sey H der Abstand des höchsten Punktes des gehobenen Wassers vom Spiegel des Binnenwassers;

so findet man nach Eytelwein die Wassermenge bei jeder Umdrehung $= 2\pi\, a\, b\, r - k - q$, und die Wassermenge, welche in jeder Minute gehoben wird

$$M = \frac{60}{t}\,(2\pi\, a\, b\, r - K - q)$$

Digitized by Google

Der Umdrehung des Rades ſetzt ſich eine Waſſerſäule von der Höhe H entgegen, deren Querſchnitt man = $a b$ annehmen kann; hiernach iſt die zur Umdrehung des Rades am Halbmeſſer r erforderliche Kraft

$$P = a b H . \gamma$$

Aus der Conſtruction der Wurfräder ſieht man leicht ein, daß das Waſſer nicht auf eine beträchtliche Höhe, ſondern nur 4 bis 5 Fuß hoch gehoben werden kann.

Ueber die Conſtruction und den Effect der verticalen Wurfräder findet man in folgenden Schriften Abbildung und Beſchreibung:

J. van Zyl, Theatrum machinarum universale 1 Deel. Amsterdam 1761 p. 5. Tab. XX—XXVI.

Wiebekings Waſſerbaukunſt 4ter Bd. S. 208 ꝛc.

Büſch, Verſuch einer Mathematik. 2ter Thl. S. 348.

Woltmann, Beiträge, 4ter Bd. S. 169 u. f.

C. L. Brünings Proeve eener nieuwe Theorie nopens de Uitwerking der staande Schepradmolens (1798) (Eine gekrönte Preisſchrift).

Ueber die inclinirten Wurfräder, deren Waſſerradswelle gewöhnlich eine ſolche Stellung hat, daß ſie mit dem Horizonte einen Winkel von 60° einſchließt, und deren Schaufeln eine ſolche Stellung erhalten, wie die Kämme bei einem Kammrade, findet man in den oben erwähnten Schriften von Büſch und Woltmann und in Belidors Architect. 1 Thl. 3 B. 2tes Cap. §. 856 eine Beſchreibung und Abbildung.

Von dem Schöpfen mit Handeimern.

§. 200. Die Art, das Waſſer durch Menſchen mit Handeimern oder Kübeln in Rinnen auf eine Höhe von 3 bis 8 Fuß zu fördern, iſt die einfachſte und von den ältern Praktikern ſehr gebraucht. Sie kann mit Vortheil da angewandt werden, wo die Schöpfmaſchinen aus Man-

Digitized by Google

gel an Raum nicht benutzt werden können und das auszuschöpfende Wasser viel Schlamm und Sand führt. Es darf aber nicht an Arbeitern fehlen, und die Wassermasse darf nicht zu groß seyn; denn ein Mensch kann selten länger als eine Stunde, im Wasser stehend, aushalten, daher diese Methode wenigstens doppelte Mannschaft, für die Arbeit bei Tage und Nacht eine dreifache Mannschaft erfordert. Bei einem kleinen Wasserbehältniß, aus welchem das Wasser ausgeschöpft werden muß, würde die Anwendung vorhandener Schöpfmaschinen, oder, in Ermangelung derselben, ihre Anfertigung, unnöthige Kosten veranlassen.

Es sind hierzu blecherne oder hölzerne, mit eisernen Bändern beschlagene, oder auch noch besser in Rücksicht der Leichtigkeit und Dauerhaftigkeit, lederne Eimer, welche $\frac{1}{4}$ bis $\frac{3}{4}$ Kubikfuß innern Raum enthalten können, wenn das Wasser nur 3 bis 4 Fuß hoch auszuschöpfen ist, erforderlich. Bei einer Höhe von 4 bis 8 Fuß gehört aber auch ein Gerüste zu den Rinnen, welches aus Böcken besteht, die für die Arbeiter mit einer Breterbedeckung belegt werden können. Im erstern Falle braucht man nur eine Reihe Arbeiter, die längs und vor der Rinne angestellt werden, und um nicht durch das Bücken zu sehr ermüdet zu werden, können sie nach Umständen $1\frac{1}{2}$ Fuß tief im Wasser stehen; im letztern Falle sind aber 2 Reihen Arbeiter nöthig; die zweite steht auf dem Gerüste. Es gehören dabei immer 2 und 2 Mann zusammen, der obere setzt den geleerten Eimer rechts, der untere den gefüllten Eimer links neben dem obern Manne auf das Gerüste. Auf jeden Mann muß also 1 Eimer gerechnet werden, und gut ist es, mehrere Eimer in Vorrath zu haben, um nicht, wenn einige beschädigt werden, aus Mangel derselben in der Förderung gehindert zu werden.

Die Angabe der in einer Minute gehobenen Wassermenge mit der Höhe, auf welche das Wasser gehoben wird, multiplicirt, oder die Angabe des Effects, ist von den sich darüber verbreitenden Schriftstellern so verschieden angegeben, daß kein allgemeines und unwandelbares Gesetz sich für den

Digitized by Google

Effect geben läßt. So hebt ein Mann, unter Voraussetzung gehöriger Ablösung in einer Minute:

I. Nach Eytelwein

5$^{c'}$ Wasser auf 3′ Höhe, also ist der Effect = 15

2$^{c'}$ = = 6′ = = = = = = 12 bei doppelten Reihen. — Nach diesen ist im ersten Falle für eine Reihe Arbeiter

MH = 15 N und im letzten Falle für 2 Reihen Arbeiter

MH = 12 N

wenn M die Wassermenge in Kubikfuß, welche in jeder Minute auf H Fuß Höhe vom Spiegel des Unterwassers oder Sumpfes bis zum Ausguß gerechnet, durch N Mann gefördert wird, bezeichnet.

II. Nach Perronet

1$^{c'}$ Wasser auf 5½′ Höhe, also ist der Effect = 5½

2$^{c'}$ = = 3′ = = = = = = 6

III. Nach Röder (Praktische Darstellung der Brückenbaukunde, Darmstadt 1821, 1 Th. 1. Abschn. Cap. 5. §. 47).

wurde 4$^{c'}$ Wasser auf 3′ Höhe gefördert, also ist der Effect = 12, und bei einer doppelten Reihe Arbeiter 7—8′ Höhe würde kaum die Hälfte gefördert.

IV. Nach Wiebeking

1$\frac{1}{7}^{c'}$ Wasser auf 5½′ Höhe, also ist der Effect = 8½

2½$^{c'}$ = = 3′ = = = = = = 7½

3$^{c'}$ = = 2′ = = = = = = 6

3$\frac{1}{4}^{c'}$ = = 1½′ = = = = = = 5½

Von der Wurf- oder Gußrinne.

§. 201. Die Wurf- oder Gußrinne (Gütte), welche man in dem vormaligen Großherzogthum Berg brauchte, zum Wasserauswerfen aus den Flüssen und Gräben, auf großen Bleichereien und auf Wiesen, um dieselben zu bewässern, ist aus einem Stücke Holz ausgehöhlt, und mit

Digitized by Google

gleich hohen Seiten versehen, 6′ lang, 6″ breit, unten rund, am Ausgusse zugeengt, und vorn an der Schöpfseite mit Eisenblech viermal gebunden. Diese Rinne ist an einem 3 Fuß langen Stiel befestigt, und man kann damit nach Wiebeking das Wasser 100 Fuß weit werfen.

Von den Wurf- oder Schwungschaufeln.

§. 202. Die Wurfschaufeln sind gewöhnlich von Holz, mit einem 3 Fuß langen Stiel versehen, und haben die Form einer Kornschaufel, nur mit dem Unterschiede, daß sie höhere Ränder haben. Man bedient sich der Wurfschaufeln bei einer Höhe von 2 bis 3 Fuß, und es kann ein Mann damit über eine so schmal als möglich anzulegende Abdämmung in jeder Minute werfen

1) nach Eytelwein

6—7$^{c'}$ Wasser auf 3½′ Höhe, also ist der Effect = 21—24½ Kubikfuß;

2) nach Wiebeking

6—7$^{c'}$ auf 3′ Höhe, also ist der Effect = 18—21.

In Fig. 180 ist eine Wurfschaufel abgebildet. Die in Holland und Niederdeutschland sehr gebräuchlichen Schwungschaufeln, Dehsemühlen dort genannt, welche entweder aus Blech oder aus Holz gemacht werden, und deren man sich bedient, wenn die Höhe, auf welche das Wasser gefördert werden soll, 3 bis 5′ beträgt, hängen an einem transportablen und aus 3 oder 4 in Form eines Bocks am obern Ende zusammengebundenen Richtbäumen bestehenden Gestelle an einem Seile, so daß sie in ihrem tiefsten Stande, wenn ihre Grundflächen horizontal liegen, nur wenig vom Wasserspiegel abstehen. Bei dem Gebrauche wird die Schaufel vorn durch 2 Mann mittelst Zugleinen gezogen und geschwungen, und wenn solche in ihrem höchsten Stande das Wasser ausgegossen hat, so wird von dem an einem Gerüste stehenden hintersten Arbeiter, welcher den 10—12′ langen Stiel richtet und führt, die Schaufel zurückgezogen und in das Wasser

Digitized by Google

wieder eingestoßen. Eine Schwungschaufel für 3 Mann, welche in Fig. 181 abgebildet ist, hat gewöhnlich folgende Abmessungen. Es ist die lichte Höhe $bc = 8''$, die obere Länge $ab = 26''$, die untere Länge $cd = 14''$ und die lichte Breite $be = 16''$, also kann eine Schwungschaufel

$$\frac{20.16.8}{12.12.12} = 1\frac{13}{27}$$ Kubikfuß Wasser fassen.

Nach angestellten Versuchen fördert aber eine Schwungschaufel nur halb so viel Wasser, als ihr Inhalt beträgt. Dieses giebt für die angenommenen Abmessungen

$$\frac{1\frac{13}{27}}{2} = \frac{20}{27}$$ Kubikfuß.

Das übrige wird verschüttet. Mit der Schwungschaufel machen 3 Mann in einer Minute nach Eytelwein und Wiebeking 25—28 Schwingungen, wenn das Wasser $3\frac{1}{2}$ Fuß hoch $= H$ geworfen werden muß, mithin kann in jeder Minute $\frac{20}{27} . 28 = 20\frac{20}{27}$ Kubikfuß Wasser $= M$ über einen Damm von $3\frac{1}{2}$ Fuß Höhe geschleudert werden. Es ist demnach der Effect

$$MH = 20\frac{20}{27} . 3\tfrac{1}{2} = 72\frac{16}{27}$$, also für einen Mann etwa 24 und für N Mann

$$MH = 24\ N \text{ und } M = \frac{24N}{H}$$

Diese Schwungschaufeln werden vorzüglich zur Aufräumung der Gräben, Kanäle und Deiche gebraucht; denn bei dem Grundbau lassen sie sich nicht leicht anwenden, weil es gewöhnlich an Raum fehlt. Sie bringen eine starke Bewegung ins Wasser, wodurch ein unreiner Grund aufgerührt und das Wasser getrübt wird.

Von der Wasserwippe und Balancirrinne.

§. 203. Die Wasserwippe, Fig. 182, welche dazu dient, das Wasser 3 — 4′ hoch zu heben, wird mittelst des

Digitized by Google

Zuges mit Seilen, die an den Enden befestigt werden, auf und nieder in das Wasser getaucht, und das gehobene Wasser gießt sich durch die Oeffnung a aus in eine angebrachte Rinne. Nach den von Perronet bekannt gemachten Erfahrungen kann die Wasserwippe von 10 an jeder Seite angestellten Männern, um am Seile zu ziehen, in jeder Minute 5 Mal eingetaucht werden, und bei jeder Eintauchung werden 3 Fuß hoch 2 Kubikfuß Wasser aufgehoben, welches für jede Minute $2 . 5 = 10$ Kubikfuß giebt. Es ist demnach der Effect für die Wasserwippe, wenn 10 Mann an jeder Seite an derselben arbeiten,

$$10 . 3 = 30, \text{ also für einen Mann } \frac{30}{20} = 1\tfrac{1}{2}$$

Die an einem Balken hängenden Balancirrinnen, welche dazu dienen, das Wasser bis auf eine Höhe von 15 Fuß zu heben, sind von einem Franzosen Morel erfunden.

In Belidor's angef. Archit. hydraul. Tom. II. Cap. IV. Tab. 8 findet man die Balancirrinnen beschrieben und abgebildet.

Von den Schaufelwerken.

§. 204. Die Schaufelwerke sind sehr im Gebrauche und werden besonders bei Brücken- Schleusen- und andern Wasserbauen angewandt, um das Grundwasser aus einer Tiefe von 6—9 Fuß herauszufördern. In Rücksicht des Effects sind die Pumpen und andere Schöpfmaschinen den Schaufelwerken vorzuziehen, da diese letzteren nur für eine geringe Förderungshöhe zu gebrauchen sind, viele Reibung haben, öfters Ausbesserung brauchen, kostspielige Einrichtung und Anordnung erfordern und großen Wasserverlust haben. Dagegen haben sie den Vorzug vor Pumpen, daß sie auch in unreinem Wasser zu gebrauchen sind, wo jene die Dienste versagen, da die Ventile leicht unbrauchbar werden.

Ein Schaufelwerk, Fig. 183, besteht aus einer 20—32′ langen rechteckigen, wasserdichten, und aus zweizölligen kie-

Digitized by Google

nenen gespundeten Bohlen verfertigten Röhre, der Wasserkasten genannt, die an beiden Enden offen ist, und deren lichter Querschnitt nur um soviel größer ist, als die darin befindlichen Schaufeln zur Vermeidung einer zu großen Reibung erfordern. Ueber diesem Wasserkasten, parallel mit demselben, wird eine zweite oben offene Rinne, von derselben Größe, worin die Schaufeln leer zurückgehen, angebracht, und mittelst Zwingen oder Jöcher EE mit dem Wasserkasten befestigt. Diese heißt der Laufkasten, und wird aus 1½ zolligen kienenen gespundeten Bohlen verfertigt. Durch beide Röhren bewegen sich, an zwei Ketten ohne Ende, rechteckige, ¾ bis 1 Zoll starke, gut ausgetrocknete, eichene Breter oder Schaufeln, Paletten genannt, welche vertical auf die Kette gestellt sind. Diesen wird in dem Wasserkasten an beiden Seiten ein Spielraum von ¼ bis ½ Zoll und oben 1 Zoll Spielraum gegeben. Die Verbindung der Schaufeln an den beiden Ketten, und die mittelst eiserner Bolzen m, m bewegliche Gliederverbindung sieht man bei N in Fig. 184 A von oben, und in Fig. 184 B von der Seite. Die Kette mit den Paletten geht über zwei an Zapfen bewegliche Wellen, die aus zwei Scheiben p p, Fig. 185, und darin im Kreise eingelegten vier- bis fünfeckigen eisernen Triebstöcken bestehen. Diese letztern müssen so weit von einander entfernt seyn, daß sie zwischen den Schaufeln zu liegen kommen, daher die Entfernung der Triebstöcke der Länge jedes Kettengliedes gleich seyn muß, wie die Fig. 183 bei W zeigt. Die Entfernung der Triebstöcke von einander wird aus dem Verhältniß der Höhe zur Entfernung der Schaufeln festgesetzt, gewöhnlich zwischen den Gränzen 1 : 2 und 1 : 1 angenommen. Sind die Schaufeln um ihre doppelte Höhe von einander entfernt, so sind 4 Triebstöcke hinreichend, wenn aber die Höhe der Entfernung gleich ist, werden 6 Triebstöcke erfordert. Durch eine Kurbel wird die obere Welle bewegt, und indem sich die Kettengewinde auf die viereckigen Triebstöcke beider Wellen auflegen, wird das ganze Schaufelgehänge um diese

Digitized by Google

Welle bewegt. Der Wasserkasten steht unten im Wasser und hat eine schräge Lage. Von dieser Lage oder vom Neigungswinkel des Schaufelwerks gegen den Horizont ist der Effect desselben abhängig; denn es läßt sich leicht einsehen, daß bei einer flachern Lage mehr Wasser auf eine geringere Höhe und bei einer steilern Lage weniger Wasser auf eine größere Höhe gehoben wird. Es wird also bei einem gewissen Winkel der Effect ein größter werden. Dieses ist der Fall, wenn das Schaufelwerk einen Neigungswinkel von 37° 38′ mit dem Horizonte macht, nach Eytelweins, Karsten's und Langsdorf's Angabe. Belidor bestimmte dagegen die Größe des Winkels zu 24° 21′. Perronet gab dem Schaufelwerke einen Neigungswinkel von 31°. Aus den nachstehenden von Wiebeking angestellten Beobachtungen sieht man, daß bei einem gewissen Winkel, unter welchem das Schaufelwerk gestellt wird, der Effect am größten ist.

Neigungswinkel.	Förderungshöhe.	Förderungsmenge für 1 Mann in Kubikfuß.	Effect.
48° 18′	14	15	210
39° 47′	12	24	288
25° 15′	8	30	240
18° 14′	6	33	198

Der obere Theil des Schaufelwerks wird bei dem Gebrauche desselben auf einem Fangdamme befestigt. Der untere Theil aber wird durch eine Kette über einer darüber in G vorgerichteten Winde höher oder tiefer gestellt. Am untern Ende ist der Laufkasten durch eine doppelte Zwinge an dem Wasserkasten befestigt, in welchem die untere Welle sich bewegt. Die obere Welle ist auf einem so beweglichen Gestelle angebracht, daß man das Schaufelgehänge mehr oder weniger anspannen kann. Es besteht aus zwei Theilen, von denen der obere, oder Stellbock H beweglich,

Digitized by Google

der untere, oder die Scheere K, unbeweglich ist. Auf dem Stellbocke befindet sich das Zapfenlager, und damit dieses nebst dem Stellbocke in der jedesmal erforderlichen Lage erhalten werden könne, so ist bei M, Fig. 186, eine eiserne Verzahnung mit einem Sperrhaken angebracht. Fig. 185 zeigt das Gestelle, Wagen genannt. Werden nun die Schaufeln durch die Umdrehung der Kurbeln in dem Wasserkasten von unten nach oben fortbewegt, so führt jede Abtheilung zwischen zwei Schaufeln eine Quantität Wasser in die Höhe, das sich am Ende oben in die Rinne ausgießt. Die Schaufelwerke werden entweder durch Menschen, von welchen an jeder Kurbel 2, 3 oder auch 4 Mann, die sich alsdann einer an den Kurbeln angebrachten Stoßstange bedienen, in Bewegung gesetzt, oder es werden auch Pferde zur Bewegung angewandt, da alsdann die Achse der obern Welle bis in das Gebäude geführt wird, worin die Pferde an der Göpel ziehen. An das Ende der Welle kömmt ein Drehling, in den ein Kammrad greift, welches unterhalb an derjenigen stehenden Welle befestigt ist, worin sich die Zugbäume für die Pferde befinden.

Den Schaufeln giebt man gewöhnlich eine Höhe von 5 — 6 und eine Breite von 12 bis 15 Zoll. Den Abstand zweier Schaufeln im Lichten nimmt man von 7 — 8 Zoll, um mit 4 Triebstöcken auszukommen. Es wäre aber besser, den Abstand der Schaufeln von einander der Höhe gleich zu machen; alsdann müssen 6 Triebstöcke in den Wellen angebracht werden. Statt zwei Ketten wird oft nur eine Kette zur Verbindung der Schaufeln gebraucht, welches aber bei größern Maschinen nicht so gut ist. Man kann auch zwischen den Schaufeln die Kette in drei Glieder durch zwei Gewinde (Gelenke) theilen, und dann auch doppelt so viele Triebstöcke in den Wellen anbringen.

§. 205. Bezeichnet h die Höhe und c die lichte Entfernung der Schaufeln, L die Länge des Wasserkastens über dem Wasserspiegel, H die Förderungshöhe, so heißt nach Ey-

Digitized by Google

telwein $\frac{e}{h}$ der Schaufelquotient und $\frac{H}{L}$ der Förderungsquotient.

Bei vortheilhaft eingerichteten Schaufelwerken haben die in beiden Quotienten vorkommenden Größen ein gewisses Verhältniß gegen einander, so daß, wenn drei davon bekannt sind, die vierte dadurch gefunden werden kann.

Nachstehende, in Eytelweins Anweisung zur Wasserbaukunst, 2tes Heft, aufgeführte Tafel, enthält dieselben.

Wenn der Schaufelquotient,	so ist der Förderungsquotient.	Wenn der Schaufelquotient,	so ist der Förderungsquotient.
$\frac{e}{h}$	$\frac{H}{L}$	$\frac{e}{h}$	$\frac{H}{L}$
1,0	0,611	1,6	0,478
1,1	0,585	1,7	0,460
1,2	0,561	1,75	0,454
1,25	0,549	1,8	0,444
1,3	0,538	1,9	0,428
1,4	0,517	2,0	0,413
1,5	0,497	2,1	0,399

Wenn die Höhe der Schaufeln $h = 5''$; die Entfernung im Lichten $e = 7''$, und die Länge des über dem Wasser befindlichen Theils des Wasserkastens $L = 20$ Fuß betragen, dann ist der Schaufelquotient

$$\frac{e}{h} = \frac{7}{5} = 1,4$$

Hierzu stimmt nach der Tafel der dazu gehörige Förderungsquotient $\frac{H}{L} = 0,517$ folglich

$$\frac{H}{L} = \frac{H}{20} = 0,517, \text{ also ist}$$

$$H = 0,517 . 20 = 10,3 \text{ Fuß},$$

Auf eine ähnliche Art kann man die Entfernung der Schaufeln im Lichten, die Höhe der Schaufeln und die Länge des Wasserkastens über dem Wasser finden.

Digitized by Google

Wenn M die Wassermenge, welche ein Schaufelwerk in jeder Minute liefert, b die Breite der Schaufeln, h die Höhe derselben, e die lichte Entfernung der Schaufeln von einander, g die Grundlinie des rechtwinkeligen Dreiecks, dessen Höhe H die Förderungshöhe und die Hypotenuse, L die Länge des Schaufelwerks über dem Wasserspiegel bis zum Ausgusse ist, m die Anzahl der Umdrehungen des obern Getriebes in einer Minute, und n die Anzahl der Stäbe desselben bezeichnet, so ist nach Eytelwein

$$M = \tfrac{1}{2}\, mnbe \left(2h - \frac{eH}{g} \right)$$

Ebenfalls ist nach Eytelwein die am Umfange des obern Getriebes erforderliche Kraft zur Erhebung des Wassers

$$= \frac{66\ H.M}{mn\,(e+d)}$$

wenn d die Dicke der Schaufeln bezeichnet, und auf die Reibung und andern Hindernisse keine Rücksicht genommen wird.

Die Theorie der Schaufelwerke findet man bearbeitet in

Karsten, Mathematik, 6ter Th. S. 146 u. f.

Langsdorf, Hydraulik, 29stes Cap.

Eytelwein, Mechanik und Hydraulik, 23stes Cap.

Eine in Rücksicht der Construction der Schaufelwerke umständliche Beschreibung findet man in

H. L. Manger, Beiträge zur prakt. Baukunst. Potsdam 1786, S. 38 u. f.

Ferner findet man Nachrichten von dieser Maschine in

Leupold Theatr. Tom. I.

J. Polley, Theatr. machin. universale etc. II Deel. Amsterdam 1737. p. 10.

J. van Zyl, Theatr. machin. univers. 1 Deel. Amsterdam, 1761. p. 12. T. 41.

Belidor, Architectura hydraulica 1. Th. 2. B. 4. Cap.

Perronet, Description des projets et de la con-

Digitized by Google

struction des ponts de Neuilly, de Nantes etc. p. 210 et 27.

Gilly und Eytelwein, Wasserbaukunst, 2tes Heft, 5ter Abschnitt, S. 10.

In diesem letzteren Werke ist eine Anleitung zur Berechnung des Wasserverlustes bei dem Schaufelwerke, in so fern es thunlich ist, denselben aus wissenschaftlichen Gründen in Rechnung zu bringen, gegeben.

Von den Scheibenkünsten.

(Püschelkünsten, Paternosterwerken, Rosenkranzmühlen.)

§. 206. Die Einrichtung einer Scheibenkunst ist Fig. 187 bis Fig. 189 dargestellt. Die erste Fig. 187 zeigt die Vorderansicht, die zweite, Fig. 188, die Seitenansicht, die dritte, Fig. 189, den Querschnitt. Durch die eine lothrecht stehende Röhre geht eine Kette ohne Ende, die in gleichen Entfernungen mit ledernen Scheiben versehen ist, welche genau in die Röhre passen und zwischen der Röhrenwand zur Minderung der Reibung einen Spielraum von $\frac{1}{6} - \frac{1}{3}$''' haben. Die Kette geht über eine Gabelwalze, an deren eiserner Achse eine doppelte Kurbel sich befindet, mittelst welcher die auf einem errichteten Gerüste angestellten Arbeiter durch das Umdrehen, das zwischen den Scheiben enthaltene Wasser aufwinden, welches oben zum Ausfluß gebracht wird. Die bewegliche Walze g, Fig. 188, deren Durchmesser in der Mitte kleiner, als an beiden Enden ist, dient der in die untere Oeffnung der Steigröhren eintretenden Kette zur Leitung.

Die Scheibe, deren Ansicht im größeren Maaßstabe Fig. 190 a, und deren Querschnitt Fig. 190 b darstellt, ein aus Holz konisch abgedrehter Schaft A, welcher, um das Zersprengen zu verhindern, mit den eisernen Ringen a a gebunden ist, deren größter Durchmesser, wo sie mit der Scheibe zusammenstoßen, nur $\frac{1}{4}$ Zoll geringer, als der

Digitized by Google

Durchmesser der Scheibe ist. Auf dem Schafte A liegt die Scheibe bb ¼″ dick, aus starkem englischen Pfundleder geschnitten, welche vorher in einer heißen Mischung von Talg, Oel und Theer gesotten wird. Auf der ledernen Scheibe liegt zur Befestigung eine eiserne Scheibe mm, die durch den Splint nn angezogen wird, welcher durch den durch den Schaft durchgehenden Bolzen M, dessen beide Enden mit den Kettengliedern verbunden sind, gesteckt, und gegen den Schaft getrieben wird.

Gewöhnlich macht man die Steigröhre 4 — 6″ im Lichten weit, 12 — 20′ hoch. Die Entfernung der Scheiben an der Kette beträgt das 6 — 8fache ihres Durchmessers, also etwa 3′, und es sind stets in der Steigröhre wenigstens 4 Scheiben zu gleicher Zeit. Röder schlägt in seiner angeführten Brückenbaukunde vor, statt hölzerner eiserne Scheiben zu gebrauchen, um die Reibung zu vermeiden, und die unaufhörlichen Flickereien der hölzernen verliederten Scheiben zu verhüten. Allein solche Scheiben nutzen die Röhren schnell ab, und die Verliederung der hölzernen Scheiben, welche die Reibung vermehrt, ist unnöthig; denn Wölfram sagt in seinem angeführten Handbuche für Baumeister, 3. Th. 1. Abth., daß, wenn auch durch den Verlust im Wandspielraume der Wasserspiegel über der zuerst beim Angange der Maschine eintretenden Scheibe sich etwas senkt, so bleibt doch unter ihm der luftleere Raum, dem, durch den äußern Luftdruck auf den Sumpf, das Wasser bis zur Ankunft der folgenden Scheibe ununterbrochen nachfolgt.

Belgrado schlägt in einem 1812 zu Turin gedruckten Memoire vor, so wenig Scheiben als möglich anzubringen, sie so genau zu verliedern, daß immer nur eine in der Röhre sey und die Maschine ganz als Saugwerk wirke.

Der Zimmermeister Ladenitz hat der Scheibenkunst eine wesentliche Verbesserung gegeben, indem er zur Verminderung der Reibung von den vielen in der Röhre befindlichen Scheiben den Untertheil der Röhre auf eine Länge, welche etwas mehr als der Abstand zweier Scheiben beträgt,

Digitized by Google

mit einer metallenen Röhre versieht, in welche die Scheiben genau passen, wogegen der übrige Theil der Röhre bedeutend weiter werden kann, als der Durchmesser der Scheiben.

§. 207. Die Hamertonsche Kettenpumpe in der Grafschaft Middlesex ist in Dinglers polytechnischem Journal, 1. Bd. 1820, beschrieben. Fig. 191 stellt das Stirnrad dar, welches die Kette ohne Ende führt. An den Gliedern dieser Kette sind Stempel oder Eimer befestigt, welche aus Lederstreifen verfertigt sind. Diese müssen in den Raum der aufsteigenden Wassersäule passen, und können innerhalb eines Raumes von 32 Fuß, der Höhe einer Wassersäule, auf welcher diese durch den Druck der atmosphärischen Luft im luftleeren Raum erhalten wird, in beliebiger Entfernung von einander angebracht werden. Hamerton stellt sie nie in einer größern Entfernung als 28 Fuß von einander, indem der Raum der aufsteigenden Wassersäule sehr unvollkommen luftleer ist. Fig. 192 stellt das Rad von seiner andern Seite mit seiner Kurbel oder Handhabe dar. Fig. 193 zeigt Form und Bau der Kette. Eine Kette, die aus einfachen und doppelten Gliedern besteht, welche durch Nieten unter einander verbunden sind, zieht Hamerton vor. Die Zähne des Stirnrades, welche in die Oeffnungen der doppelten Glieder fallen, führen die Kette herum, und bringen folglich die Stempel oder Eimer durch den Raum der aufsteigenden Wassersäule in gehörigen Abständen mit einer Säule Wassers herauf. Die Stempel werden an die Kette, wie die Gelenke derselben, befestigt, indem sie, wie die einzelnen Glieder Fig. 194 zeigen, mit Zapfen zum Annieten versehen sind. Die Kette ohne Ende muß von hinlänglicher Länge seyn, um in einige Tiefe unter die Oberfläche des Wassers hinabzureichen. Wenn sie durch den Raum der aufsteigenden Wassersäule (der an seinem untern Ende sich glockenförmig öffnet) durchläuft und die Stempel und die Wassersäule in den Wasserbehälter oder in die Cisterne hinauf führt, so lassen die Ausschnitte oder Höhlungen an

Digitized by Google

dem Stirnrad die Stempel, während sie über das Rad hinlaufen, in dieselbe hineinfallen. Auf diese Weise erspart man eine große Menge von Stempeln oder Eimern, die man vorher an Kettenpumpen brauchte, vermindert die Reibung um ein Beträchtliches, und zieht eine mächtige Säule Wassers aus einer beliebigen Tiefe mit verhältnißmäßig weniger Arbeit herauf. — Diese Pumpe schöpft in einer gegebenen Zeit mehr Wasser, als irgend eine andere bisher gebräuchliche.

§. 208. Vergleicht man auch die Scheibenkünste mit den Pumpen- und Schaufelwerken, so haben jene vor diesen in Rücksicht des Effects den Vorzug; sie nehmen weniger Raum ein, als die Schaufelwerke, und im schlammigen und trüben Wasser, wo die Pumpen nicht gut anwendbar sind, leisten sie ihre Dienste.

Werden statt der Scheiben lederne, kuglige, ausgestopfte Püschel gebraucht, so hat man das Paternosterwerk (die Rosenkranzmühle). Diese Püschel sind nicht dauerhaft.

Läßt man die verticale Röhre weg, und befestigt an der Kette in gleichen Entfernungen Scheiben, Kasten oder Kübel, welche im Sumpfe Wasser schöpfen, und dieses oben beim Umgange um die Welle in die Gußrinne ausschütten, so hat man die Kasten- oder Eimerkunst.

Ueber die Construction der Scheibenkunst findet man in Belidor's Archit. hydraul. 1. Th. 2. Bd. 4. Cap. die vollständigsten Nachrichten.

Nach Eytelwein findet man die Wassermenge, welche eine Scheibenkunst in jeder Minute liefert, wenn man den Inhalt des Wasserkörpers, welcher jedem Fuße von der Höhe der Steigröhre entspricht, mit der Peripherie der Gabelwalze und der Anzahl der Umdrehungen in einer Minute multiplicirt. Ferner erhält man die Anzahl der Mannschaft oder die Kraft, welche am Umfange der Kurbel zur Ueberwältigung der Last erfordert wird, wenn man das Gewicht des zu hebenden Wassers nebst dem Widerstande,

Digitized by Google

welcher von der Reibung entsteht, mit dem Halbmesser der Gabelwalze multiplicirt, das Product durch den Kurbelbug und den Quotienten durch 25 dividirt. Bezeichnet demnach

A den Querschnitt der Steigröhre,

E die Entfernung der Scheiben von einander,

F den Raum, welchen diese Länge der Kettenglieder nebst den dazu gehörigen Scheiben einnimmt,

H die Förderungshöhe,

L die Länge der Steigröhre,

so erhält man den Kubikinhalt eines E Fuß langen Wasserkörpers auf jeden Fuß Höhe der Steigröhre

$$\frac{AE - F}{E}$$

Weil nun in jeder Minute die Kurbel m mal umgedreht wird, und bei jeder Umdrehung der Gabelwalze P Fuß Länge der Kette abgewickelt wird, so erhält man die Wassermenge gleich M in jeder Minute, wenn M′ anstatt $\frac{AE - F}{E}$ gesetzt wird

$$M = m \,.\, PM'$$

Angestellten Versuchen zufolge kann man den Widerstand, welcher von der Reibung einer jeden Scheibe entsteht, dem Gewichte einer Wassersäule gleich setzen, deren Grundfläche der horizontale Querschnitt der Röhre und deren Höhe

$= \frac{H}{20 \,.\, D}$ ist, wenn D den Durchmesser der Röhre bezeichnet; folglich verursachen die sämmtlichen Scheiben einen Widerstand von der Höhe

$$= \frac{H}{20D} \cdot \frac{L}{E}$$

und dazu die Höhe der Wassersäule, welche gehoben wird, so erhält man für das Gewicht der Wassersäule

Digitized by Google

$$\left[\left(m \cdot P \cdot M'\right) \cdot \left(\frac{H}{20 \cdot D} \cdot \frac{L}{E} + II\right)\right] y = Q$$

in welcher Gleichung Q die zu überwältigende Last in Pfunden bezeichnet. Diese auf den Umfang der Kurbel reducirt, giebt die am Umfange der Kurbel nöthige Kraft = K in Pfunden

$$K = \frac{QR}{r}$$ wenn R den Halbmesser der Gabelwalze und r den Kurbelbug bezeichnet. Wird nun diese Größe mit 25 dividirt, so erhält man die Zahl der Arbeiter.

Beim Bau der Brücke zu Neuilly hatte Perronet Röhren 15′ lang, 5″ weit gebohrt, worin das Wasser vermittelst der Scheiben, welche 30 Zoll aus einander entfernt waren, 12′ hoch gehoben wurde. Auf diese Höhe wurden von 4 Mann an zwei Kurbeln, deren Länge 15 Zoll betrug, mittelst 20 bis 30 Umdrehungen der Gabelwalze, deren Durchmesser 12″ betrug, in 24 Stunden (wobei alle 2 Stunden abgelöst werden mußte) 11040 Kubikfuß Wasser gehoben.

Von der Veraischen Seilmaschine.

§. 209. Die Veraische Seilmaschine, Fig. 195, hat folgende Einrichtung.

Ueber zwei Rollen A, B von 16″ Durchmesser, wovon die untere mittelst eines Gewichtes oder auf andere Weise unter Wasser befestigt wird, sind ein Paar härene Seile ohne Ende gewunden. Die obere Rolle wird durch eine einfache Kurbel oder durch die Verbindung der Kurbel mit einem Rade und Getriebe in Bewegung gesetzt. Geschieht die Umdrehung sehr schnell, — denn von der Geschwindigkeit hängt der Effect dieser Maschine gänzlich ab, — so hängt sich, vermöge der Adhäsion, das Wasser gegen das Seil an, und zwischen die Seile eine Wassersäule, welche durch cc aufwärts geführt, in der Richtung einer Tangente weggeschleu-

Digitized by Google

dert, und durch die gewölbte Haube oder den Wasserkasten aufgefangen wird, wo sie dann auf dem schiefen Boden des Wasserkastens durch die Oeffnung abfließt. Der Boden des Wasserkastens ist bei F und G durchbohrt, und zwar bei G so weit, als es der Durchmesser des das Seil umgebenden Wassercylinders fordert. Die Oeffnung bei F aber darf nicht viel weiter als der Durchmesser des Seils seyn und wird mit einem etliche Zoll hohen, blechernen Rande versehen, damit so wenig Wasser als möglich zurückfließt.

Schmidt giebt in seinen Anfangsgründen der Mathematik (2. Th. 2. Abth. 6. Abschn. Frankfurt a. M. 1799) eine Berechnung zur Bestimmung der Geschwindigkeit, mit welcher die Rolle A umlaufen muß, damit kein Wasser längs dem Seile herabfließe. — Je schneller die Bewegung dieser Maschine ist, um so größer wird der Effect; allein in demselben Verhältniß wächst auch die bewegende Kraft. Um das Maximum der Geschwindigkeit zu bestimmen, wobei der größte nutzbare Effect stattfindet, mangelt es an zuverlässigen Erfahrungen.

Die hier abgebildete Seilmaschine ist nach der von Röder in seiner Brückenbaukunde, 1. Th. 1. Abschn. 5. Cap. beschriebenen, welche bei dem Bau einer steinernen Brücke über die Use zu Friedberg in der Wetterau 1805 gebraucht worden, construirt.

Das unten offene Gehäuse dieser Maschine war 2′ und 2″, 6‴ weit im Lichten; die Ränder der 16‴ im Durchmesser haltenden Rollen waren 8′ von einander entfernt. Die Welle der obern Rolle hatte einen Trilling von 6 Triebstöcken, in den ein 12zolliges Stirnrad von 24 Zähnen eingriff. An der Welle des Stirnrades befanden sich 3 Schwungflügel mit schweren Linsen. Ein Arbeiter drehte ohne Anstrengung die Kurbel 50mal in einer Minute, wodurch also die Rolle 50 . 4 = 200 in dieser Zeit herumlief. Die Seile bewegten sich also 837′ in der Minute, oder 13, 9′

Digitized by Google

in der Secunde, welches ungefähr die Geschwindigkeit der allerrapidesten Flüsse seyn mag. Die geförderte Wassermenge in einer Minute war 5, 5 Kubikfuß, also in einer Stunde 330 Kubikfuß.

Um den Effect zu vergrößern, wäre es vielleicht vortheilhaft, 3 — 6 Seile parallel unter einander in die Höhe gehen zu lassen; damit sie eine massive Wassersäule zwischen sich in die Höhe führen könnten. In diesem Falle müßte die eine oder die andere Welle wegen der Zusammenziehung der Seile etwas höher oder tiefer gestellt werden.

Ueber die Construction der Veraischen Seilmaschine findet man fernere Nachricht in Langsdorfs Anleitung zum Straßen- und Brückenbau, Mannheim 1817.

Von dem Effect der Schöpfmaschinen.

§. 210. Da die Vergleichung des Effectes verschiedener Maschinen die Vergleichung ihrer Wirkung ist, so kann man nur die Effecte der hier beschriebenen Schöpfmaschinen gegen einander halten, wenn die Wahl derselben nach den Resultaten der Wirkungen bestimmt werden soll. Allein bei der Bestimmung des reinen oder nutzbaren Effectes müßten auch die Anschaffungs- und Unterhaltungskosten der Maschine nebst deren Dauer in Rechnung gebracht werden; das Letztere ist aber besonders schwer auszumitteln, wenn auch die Verschiedenheit der Maschinen an sich, von denen einige das Wasser blos mechanisch, andere durch den Druck der Atmosphäre heben, nicht beachtet würde. Richtige Erfahrungen hierüber sind schwer zu erhalten, auch lassen sich bei dem besten praktischen Ueberblicke eben so wenig alle eintretende Umstände, welche auf den Kostenanschlag Einfluß haben, vorherbestimmen, als sich die zum Wasserschöpfen und zur Bedienung der Maschinen erforderliche Anzahl von Arbeitern genau angeben läßt.

Digitized by Google

Man wähle daher die einfachsten Maschinen als die besten, und suche die zerbrechlichsten kleinen Theile der Maschine beständig fertig vorräthig zu haben, um nicht durch einen solchen Abgang in der Schöpfarbeit gestört zu werden. Da aber die Wasserförderung sehr kostspielig ist, so suche man durch Zeitersparung Kosten zu ersparen. Aus diesem Grunde sind solche Maschinen, die mit Ersparung an Kraft einen größern Zeitverlust verursachen, nicht allemal die vortheilhaftesten. Nur höchstens 8 Stunden können in den mehrsten Fällen die Arbeiter in 24 Stunden mit dem gehörigen Kraftaufwande arbeiten. Man hat daher 3 Ablösungen nöthig, wenn Nacht und Tag fortgearbeitet wird, und die Ablösung kann abwechselnd, alle 2 oder 3 Stunden, am besten geschehen. Man wähle zur Bauzeit die trockenste Jahreszeit, nämlich einige Monate im Spätsommer und Herbste, um so wenig als möglich durch Wasser gehindert zu werden, da alsdann die Arbeit sehr erleichtert wird, und Kosten gespart werden. Weil aber diese günstige Jahreszeit sehr kurz ist, so muß man das Ausschöpfen des Grundwassers und die Grundarbeit sehr beschleunigen. Hat man nur eine geringe Quantität Wasser auf 3 bis 4 Fuß Höhe zu schaffen, so bediene man sich der Eimer, Wasserwippen oder Wurf- und Schwungschaufeln. Bei 3 bis 8 Fuß Höhe sind Tonnenschnecken, Wasserschrauben, Schaufelwerke und allenfalls die Seilmaschine passend; Scheibenkünste und Pumpen sind für größere Förderungshöhen als 8 Fuß, sowohl vermöge ihrer Structur, als weil sie mit geringer Vermehrung von Kraft auf jeder Höhe gleich viel Wasser ausgießen, die schicklichsten. Die Spiralpumpe leistet einen größern Effect, als die Scheibenkünste und die Pumpen und hebt das Wasser auf eine beträchtliche Höhe.

Zu großen Austrocknungen und Entwässerungen kann man die Wasserschraube und das Wurfrad anwenden, und zur Leerung der Baustellen können am vortheilhaftesten die Pumpen, die Wasserschraube, die Scheibenkünste, das Schau-

Digitized by Google

felwerk, die Tonnenschnecke und das Ausschöpfen mit Eimern angewandt werden.

Zu den Grabenaufräumungen kann das Wasser am leichtesten mit Wurf- und Schwungschaufeln, und zu den Wiesenentwässerungen mit der Wurf- oder Gußrinne, mit der Wasserwippe und mit dem Schöpfrade aufgefördert werden.

Um eine Uebersicht von den Effecten der verschiedenen Schöpfmaschinen zu haben, wiederholen wir aus dem Vorgetragenen Folgendes, wobei zu bemerken ist, daß die aus den von mehreren Schriftstellern angestellten Versuchen gefolgerten Resultate sehr verschieden sind, wir aber hauptsächlich die von Eytelwein und auch die von Perronet angestellten Versuche hier zum Grunde legen.

Bezeichnet

M die Wassermenge in Kubikfuß, die in einer Minute gehoben wird;

H die Höhe, auf welche das Wasser gehoben werden soll;

N die Anzahl der Arbeiter;

so beträgt der Effect in einer Minute

1) für die Scheibenkünste MH = 37,8 N
2) für die sechszölligen Bohlenpumpen MH = 34,6 N
3) für die Wurfschaufeln MH = 24 N
4) für die Schaufelwerke MH = 18¼ N
5) für die Wasserschnecke MH = 15,7 N
6) für das Ausschöpfen mit Eimern MH = 15 N für eine Reihe Arbeiter.

Es verdient hier bemerkt zu werden, daß die Wasserschnecke nach Eytelweins angestellten Versuchen einen größeren Effect leistet, und daß diese unter übrigens gleichen Umständen auf alle Weise der Wasserschraube vorzuziehen ist.

Anmerk. Die von Belidor in Vorschlag gebrachte Einrichtung an dem Schöpfwerke, mittelst welcher die Zahl der Umdrehun-

Digitized by Google

gen angezeigt wird, verdient berücksichtigt zu werden, indem man die Arbeiter nach der Zahl der Umgänge bezahlt, wodurch sie veranlaßt werden, um so thätiger zu arbeiten, welches zuweilen, besonders in der Nacht, höchst nothwendig seyn kann.

Von der Dampfmaschine.

§. 211. Es werden die Wasserhebungsmaschinen nicht nur durch die Kräfte der Menschen, Thiere, des fließenden Wassers, des Windes, sondern auch durch Dämpfe in Bewegung gesetzt. Freilich geschieht dieses letztere sehr selten, weil die Anschaffungs- und Unterhaltungskosten einer Dampfmaschine und die Kosten des Brennmaterials sehr bedeutend sind, und weil ihre Reparatur schwierig ist. Nichts desto weniger bedient man sich doch zuweilen derselben zur Hebung des Wassers, wenn die Menge desselben eine bedeutende Kraft erfordert. Bei dem Dorfe Fresne bei Condé befindet sich eine Dampfmaschine zur Aufförderung des häufigen Wassers aus den Kohlengruben. Diese ist von Langsdorf in seiner Hydraulik, 21. Cap., beschrieben und abgebildet. Bei dem Baue des Klodnitzkanals in Schlesien, so wie auch bei dem Baue der Hafenschleuse zu Neufahrwasser bei Danzig wurden Dampfmaschinen gebraucht, von welchen die letztere von Eytelwein in seiner prakt. Anweisung zur Wasserbaukunst, 5. Abschn. S. 48 u. f. beschrieben und abgebildet ist.

Außer diesen erwähnten Schriften findet man auch eine vollständige Beschreibung der Dampfmaschine in nachstehenden Werken:

Belidor, Archit. hydraul. 2. Bd.

Bossut, Hydrodynamik, 2. Bd.

Langsdorf, Handbuch der Maschinenlehre, 1. Bd.

Nieuwe Verhandelingen van het Bataafsch genootschap te Rotterdamm, 1 Deel. 1800.

Prony, neue Architect. hydraul. 1. Th. 2. Bd. Aus dem Franz. Frankfurt, 1795.

Digitized by Google

Dieses letztere Werk liefert eine vollständige Abbildung und Beschreibung von den ältern und neuern Dampfmaschinen, und der praktische Mechaniker und Manufacturist, von Nicholson, aus dem Englischen, Weimar 1826, 1ste Lieferung, giebt eine sehr vollständige Beschreibung von der ersten und den spätern verbesserten Einrichtungen der Dampfmaschinen.

Indem auf diese Schriften Bezug genommen wird, sollen hier nur kurz die Eigenschaften der erhitzten Dämpfe auseinander gesetzt und die stufenweise verbesserten Einrichtungen der Dampfmaschinen erwähnt werden.

Dem Marquis von Worcester, welcher unter der Regierung Karls II. lebte, gebührt die Ehre, daß er zuerst auf die Ausdehnungskraft des Dampfes in einem verschlossenen Gefäße aufmerksam gemacht hat. Allein in seinem von ihm im Jahre 1663 herausgegebenen Werke (The scantlings of one hundred inventions) kann man nicht deutlich genug sehen, welche Art von Maschinerie er zur Anwendung der Dampfkraft gebraucht hat.

Die Eigenschaften des einem gewissen Wärmegrad ausgesetzten und dadurch in eine gasförmige Gestalt oder in Dämpfe verwandelten Wassers bestehen darin,

1) daß die Dämpfe eine bedeutend große ausdehnende Kraft, Expansivkraft genannt, erlangen, welche mit dem Grade der Erhitzung wächst, ferner
2) daß sie durch Berührung mit einem kalten Körper ihre freie Wärme an solchen mit unglaublicher Geschwindigkeit absetzen, und mit dieser Absetzung ihre dampfförmige Gestalt und Elasticität plötzlich verlieren, mithin ihrer Expansivkraft beraubt werden. Geschieht dieses in einem dicht verschlossenen Gefäße, so erlangt die Ausdehnungsfähigkeit eine fast unbegränzte Kraft, und wenn nun das Gefäß plötzlich abgekühlt wird, so schlägt sich der Dampf in tropfbar flüssiger Gestalt nieder, und es entsteht bei dieser Verdichtung der Dämpfe ein luftleerer Raum.

Digitized by Google

§. 212. Thomas Savary hat zuerst die Kraft des Dampfes im verschlossenen Gefäße zu nützlichem Zwecke verwendet. Im Jahre 1698 erhielt er ein Patent darauf. — Um sich die Grundsätze, worauf die Wirkung der von ihm erbaueten Dampfmaschine beruht, zu verdeutlichen, dient Fig. 196. B ist ein verschlossener, metallener und etwa bis zur Hälfte mit Wasser angefüllter Kessel, welcher zur Ertragung eines bedeutenden Druckes hinlänglich stark seyn muß. Der Kessel steht auf einem Herde. Wird unter demselben Feuer angelegt, so wird das Wasser erhitzt und es erzeugt sich Dampf. Dieser steigt darin in die Höhe, geht mittelst Eröffnung des Hahnes C durch die Röhre, füllt den Cylinder A, und steigt in der Röhre fg in die Höhe, während er das Ventil D durch seine Ausdehnungskraft schließt. Verschließt man nun den Hahn C und schlägt man den Dampf in dem Cylinder dadurch nieder, daß man kaltes Wasser von außen darauf gießt, so wirkt der Druck der Atmosphäre auf das Ventil f ein, verschließt dasselbe; es entsteht ein luftleerer Raum im Cylinder A, und das in dem untern Behälter befindliche Wasser wird durch den Druck der äußern Atmosphäre durch die Röhre E in den Cylinder A hinaufgetrieben, und zwar nur zu einer Höhe von 26 Fuß über der Oberfläche des im untern Behälter befindlichen Wassers; denn da der Raum im Cylinder A nicht vollkommen luftleer wird, so kann der Druck der Atmosphäre nicht wohl eine höhere Wassersäule tragen. Wird nun der Hahn C wieder geöffnet, so daß der Dampf auf das in A befindliche Wasser drücken kann, so schließt sich das Ventil D und das Wasser wird durch das Ventil f und die Röhre fg nach dem obern Behälter hinaufgetrieben. Wird nun der Hahn C wieder geschlossen und der Dampf in A wieder niedergeschlagen, so wiederholen sich die vorigen Erscheinungen; das Gewicht des Wassers in der Röhre fg schließt das Ventil f, der Cylinder füllt sich durch E und D von Neuem u. s. f.

Die wesentlichen Mängel dieser Savaryschen Dampf-

Digitized by Google

maschine bestehen darin, daß die Dämpfe während des Druckes in unmittelbarer Berührung mit dem kalten Wasser im Cylinder stehen, und daß der Cylinder abwechselnd bald mit Dämpfen, bald mit kaltem Wasser angefüllt wird, wodurch ein beträchtlicher Theil des Dampfes ganz unbenutzt verloren geht.

Die durch diese Maschine klar bewiesene Kraft des Dampfes erregte die Aufmerksamkeit Mehrerer, und man stritt sich über deren Auffindung, welche die Engländer dem Marquis von Worcester, die Franzosen aber dem Dr. Papin beilegten. Diesem letztern gebührt die Ehre der Erfindung eines Sicherheitsventils, wodurch die allgemeine Verbreitung und Vervollkommnung der Dampfmaschine möglich geworden ist. Die Erfindung des Dr. Papin ist sehr einfach und besteht blos darin, daß er zwischen dem Wasser und den Dämpfen eine auf der Oberfläche des Wassers schwimmende, hölzerne Scheibe anbrachte. In einer Oeffnung, die z. B. 1 Quadratzoll hält und mit dem verschlossenen Kessel communicirte, ließ Papin ein diese Oeffnung genau verschließendes Kegelventil von außen so stark beschweren, als es nöthig war, um einer gewissen Kraft der Dämpfe, die sich nach der Dauerhaftigkeit des Kessels richtet, zu widerstehen; denn es ist klar, daß, so lange der Dampf das Ventil nicht in die Höhe getrieben hat, der auf jeden Quadratzoll der innern Wände des Kessels ausgeübte Druck den Betrag der Beschwerung nicht übersteigt, daher sich die Möglichkeit des Zerspringens recht wohl beurtheilen läßt.

Nicholson sagt, daß, wenn auch diese Verbesserung der Maschine gegenwärtig von keinem praktischen Nutzen ist, es doch nicht unwahrscheinlich sey, daß diese Einrichtung zuerst auf den Gedanken geführt habe, den im Cylinder wirkenden genau schließenden Kolben anzubringen, welcher auf der nächsten Ausbildungsstufe der Maschine die wichtigste Verbesserung sey.

§. 213. Die Savarysche Dampfmaschine wurde von einem Eisenhändler oder Schmidt, Namens Newcomen, und

Digitized by Google

einem Glaser, Namens Crawley, die zu Dartmouth in Devonshire lebten, sehr verbessert. Im Jahre 1705 erhielten sie mit Savary zugleich ein Patent auf ihre verbesserte Dampfmaschine. Diese unter dem Namen der Newcomenschen bekannte Dampfmaschine findet man in den angeführten Schriften sehr umständlich beschrieben und abgebildet, daher ihre Einrichtung hier nur kurz beschrieben werden soll. — Zuvörderst aber ist zu bemerken, daß diese Dampfmaschine die erste gewesen ist, in welcher ein Kolben in einem Cylinder auf- und niederging, der also dem Werke einen ganz neuen Charakter gab.

Der cylindrische oben und unten gewölbte Dampfkessel A, Fig. 197, von starkem Metall, welcher in einem gut gebaueten Windofen, dessen Feuer durch angebrachte Züge gehörig regulirt werden kann, eingemauert ist, wird bis aa mit Wasser angefüllt, und um diese Wasserhöhe, sobald die Maschine in Thätigkeit ist, zu erhalten, sind an dem Kessel die vom Capitain Savary erfundenen Probirhähne g und h angebracht, mittelst welcher man die Höhe des Wasserstandes im Kessel untersuchen kann. Es muß der Raum, welchen die Dämpfe und das Wasser einnehmen, in einem bestimmten Verhältnisse gegen einander stehen; zur Wahrnehmung dieses dienen die beiden in dem Kessel mit Hähnen versehenen Röhren, von welchen die kürzere g nur bis an die Linie aa, die längere h in das Wasser bis t reicht. Ist nicht genugsames Wasser im Kessel, so steigt beim Oeffnen des Hahnes h Dampf, und ist zu viel Wasser im Kessel, so steigt beim Oeffnen des Hahnes g Wasser. — Aus dem Dampfkessel, worin das Wasser zum Kochen gebracht, und darin durch Nachfeuern erhalten wird, steigen die Dämpfe durch eine mit einem Hahne oder Ventile versehene Röhre E, die von Gußeisen ist, in den großen Cylinder, der gewöhnlich, besonders in England, von Gußeisen gemacht, und inwendig vollkommen cylindrisch ausgebohrt und ausgeschliffen ist. In diesem Cylinder spielt ein aus Gußeisen verfertigter Kolben D luft- und dampfdicht auf

Digitized by Google

und nieder, dessen hervorstehender Rand an der Seitenfläche genau abgedreht und polirt ist. Ueber diesem hervorstehenden Rande liegt die Hanfliederung des Kolbens, damit er durch deren Hülfe desto dampfdichter anschließe.

D ist die Kolbenstange, welche dadurch an dem Kolben befestigt ist, daß dieser konisch durchbohrt ist, und daß das ebenfalls konische Ende der Kolbenstange genau in die Oeffnung des Kolbens paßt. Das obere Ende der Kolbenstange ist mittelst einer starken eisernen Kette, deren Glieder nach Art der Uhrketten gearbeitet sind, an einen großen Wagebaum fG befestigt, der um die feste Unterstützung bei C beweglich ist. Am entgegengesetzten Ende des Wagebalkens, in gleicher Entfernung von dem Unterstützungspunkte, ist auf gleiche Weise das Gestänge befestigt, welches die zur Hebung des Wassers bestimmte Pumpe H treibt. Die Kolbenstange dieser Pumpe nebst dem Kolben hat das Uebergewicht, und in Ermangelung dessen wird ein Gegengewicht von mehreren über einander geschichteten schweren Platten J von Gußeisen daran befestigt, wodurch ein Uebergewicht entsteht, durch welches der Wagebaum niedergezogen und der andere Arm in die Höhe gezogen wird, wenn die Maschine sich im ruhenden Stande befindet. Wenn nun die Dampfmaschine sich in dieser Lage befindet, so wird sich, wenn das in dem Dampfkessel befindliche Wasser durch das auf dem Herde des Ofens angezündete Feuer zum Kochen gebracht worden, und der Hahn E geöffnet ist, der Cylinder B mit Dampf füllen, und die darin befindliche Luft durch die mit einem Hahne i versehene Röhre ausgetrieben werden. Wenn nun die Hähne E und J geschlossen werden, und der Hahn b geöffnet wird, so spritzt Wasser aus der Injectionsröhre abc in den Cylinder, schlägt alsbald den Dampf nieder und erzeugt einen ziemlich luftleeren Raum, so daß der Druck der Atmosphäre auf den Kolben wirkt, und ihn bis zum Boden des Cylinders treibt, wodurch das andere Ende des Maschinenbalkens in die Höhe geht und die Pumpe einen Zug verrichtet. Wird nun der

Digitized by Google

Hahn b verschlossen und E geöffnet, so wirkt der Dampf f gegen den untern Theil des Kolbens, überwindet den Druck der Atmosphäre und bringt mit Hülfe des Gegengewichts I den Kolben wieder in seine erste Lage; wird nun E wieder verschlossen und b geöffnet, so wiederholen sich die oben erwähnten Erscheinungen.

Es wird bemerkt, daß der Hahn i auch dazu dient, das in dem großen Cylinder angesammelte Wasser abzuzapfen, und mittelst einer Röhre in den Dampfkessel wieder zurückzubringen. Das Gefäß k, welches die Injectionsröhre mit Wasser versieht, wird, wenn kein anderer Zufluß da ist, durch eine Pumpe, welche die Maschine treibt, stets voll erhalten.

§. 214. So viele Vorzüge aber auch die Newcomensche Maschine gegen die Savarysche hat, in Absicht ihrer Einrichtung, so hat dieselbe doch noch wesentliche Unvollkommenheiten, welche dadurch entstehen, daß das Einspritzen des Wassers zur Verdichtung der Dämpfe in dem Cylinder selbst geschieht, welches den Nachtheil hat, daß dadurch die Wand des Cylinders abgekühlt und ein beträchtlicher Theil des Dampfes ganz unbenutzt verloren geht. Um nun diesen Verlust zu ersetzen, ist man genöthigt, den Kessel verhältnißmäßig größer zu machen, woraus denn ein größerer Aufwand an Brennmaterialien entsteht; denn, da der Druck der Luft auf den Kolben D die bewegende Kraft ist, indem die Dämpfe blos dazu dienen, ein Vacuum unter dem Kolben hervorzubringen, so steht die bewegende Kraft im directen Verhältniß der Grundfläche des Kolbens, und ihr mechanischer Effect überdies im Verhältniß des Kolbenhubs; daher der Effect der Maschine nur durch Vergrößerung des Raumes des Cylinders vermehrt werden kann. Der Vortheil, daß man keinen Dampf von mehr als einmaligem atmosphärischen Drucke anzuwenden brauche, was bei Savary's Maschine der Fall war, wenn das Wasser durch die Röhre gf, Fig. 196, mehr als etwa 32 Fuß gehoben werden sollte, wurde bei Newcomens Maschine vollkommen erreicht. Das Ge-

Digitized by Google

wicht I, Fig. 197, hält bei dieser Maschine dem Kolben die Wage, und die Kraft des Dampfes braucht nie mehr, als etwa 15,6 ℔ auf den Quadratzoll zu betragen, während der Maschinenbalken dienliche Bewegung gestattet, durch welche das Wasser zu jeder erforderlichen Höhe gehoben werden kann.

Heinrich Beighton von Newcastle erfand den sogenannten Daumenbaum oder Steuerbaum zum Oeffnen und Schließen der Ventile, durch welche Einrichtung die Dampfmaschine sehr verbessert wurde. Er wandte auch ein Saugwerk an, um den durch die Dampferzeugung verursachten Abgang des Wassers im Kessel zu ersetzen. Diese Maschine wurde Beighton's Feuermaschine genannt, und blieb fast funfzig Jahre im Gebrauche; denn man richtete die Aufmerksamkeit mehr auf Ersparung des Brennmaterials, als auf fernere Vervollkommnung der Maschine.

Mathew Washbrough von Bristol brachte eine Kreis- oder Radbewegung der Maschine hervor. Im Jahre 1778 erhielt er auf die Anwendung des Kurbel- oder Krummzapfens ein Patent. — Ob dies gleich von allen bis jetzt angewandten Vorrichtungen die beste ist, so ward sie doch auf lange Zeit durch die sogenannten Sonne- oder Planeträder von Boulton und Watt verdrängt.

§. 215. Im Jahre 1763 brachte Watt, gebürtig aus Glasgow, folgende große Verbesserung an der Dampfmaschine an:

1) Um die Temperatur des großen Cylinders gleichförmig zu erhalten, und alle Zersetzung von Dämpfen darin zu vermeiden, ließ Watt den Cylinder in ein hölzernes Gehäuse einschließen, und den Zwischenraum mit gepülverten Holzkohlen ausfüllen; späterhin umgab er den eigentlichen Dampfcylinder mit einem zweiten (dem Dampfgehäuse) und ließ in den Zwischenraum Dämpfe einstreichen;
2) die Verdichtung der Dämpfe bewirkte Watt nicht unmittelbar in dem großen Cylinder, sondern in einem

Digitized by Google

besondern Gefäße, welches nur durch eine Röhre mit dem Cylinder in Verbindung gebracht wurde, und der Verdichter oder Condensator genannt wird;

3) um den Druck der Atmosphäre von dem Kolben ganz auszuschließen, und die bewegende Kraft durch die Elasticität der Dämpfe selbst hervorzubringen, ließ Watt den Cylinder oben verschließen, und die Kolbenstange durch eine dicht anschließende und mit Harz und Talg verlieberte Büchse gehen. Den Kolben suchte er durch Oel oder Fett luftdicht zu halten.

Man sieht leicht hieraus, daß diese Dampfmaschine, deren detaillirte Beschreibung man in dem angeführten Pronyschen und Nicholsonschen Werke, so wie auch in Gren's Journal, 1. und 2. Stück, findet, viele Vorzüge vor der Newcomenschen hat, und daß sie mittelst ihrer zweckmäßigen Einrichtung auch einen geringen Aufwand an Brennmaterialien erfordert.

§. 216. Um den wesentlichen Theil der Dampfmaschine von Watt zu erläutern, benutze ich die von Schmidt in seinen Anfangsgründen der Mathematik, 2. Th. 2. Abth. S. 264, gegebene Beschreibung und Abbildung. In der Fig. 198 ist der Dampfkessel und der Wagebalken nicht angegeben; jener befindet sich zur Seite des großen Cylinders AB, dieser über demselben in der gewöhnlichen Stellung.

Das von dem Kessel kommende Dampfrohr theilt sich bei C in zwei Röhren, wovon die eine CD die Dämpfe durch das Ventil a in den obern Theil des Cylinders über den Kolben, die andere CE durch das Ventil c in den untern Theil des Cylinders unter den Kolben leitet. Die Figur stellt den Kolben in seinem höchsten Stande und im Begriffe zu sinken vor; daher sind die Ventile a und b offen, c und d aber geschlossen. Die durch das Ventil a über den Kolben strömenden Dämpfe drücken den Kolben nieder, indem die unter dem Kolben befindlichen Dämpfe durch das Ventil b und die Röhre s in ein stets mit kal-

Digitized by Google

tem Wasser gefülltes Gefäß entweichen und sich daselbst verdichten. So wie der Kolben sich seinem niedrigsten Stande nähert, schließen sich mittelst des Steuerbaums der Maschine die Ventile b und a, dagegen werden die Ventile c und d geöffnet. Es strömen nun Dämpfe aus dem Kessel durch die Röhre CE unter den Kolben, und die über dem Kolben befindlichen entweichen durch das Ventil d und die Röhre GH. Diese Röhre führt zu dem Bodenventil einer Saugpumpe, deren Stiefel in dem mit kaltem Wasser gefüllten Gefäße SS steht, und deren Kolben mit dem Kolben des großen Cylinders vermittelst der Bewegung des Wagebalkens zugleich in die Höhe geht. Die Pumpe heißt die Luftpumpe, weil sie die heißen Dämpfe sowohl, als die aus dem kochenden Wasser sich sammelnde Luft aus dem großen Cylinder zieht und jene zu Wasser verdichtet, einer zweiten Pumpe L, der sogenannten warmen Wasserpumpe, zuführt, die sie, zum Ersatz des aus dem Kessel verdünsteten Wassers, weiter schafft. Da der Auf- und Niedergang des Kolbens durch die Kraft der Dämpfe bewirkt werden soll, so ist die Kolbenstange K von Eisen und ihr oberes gezähntes Ende greift in den ebenfalls gezähnten Bogen des Wagebalkens. Das natürliche Uebergewicht der Kolben und Kolbenstangen wird durch Gegengewichte an dem Ende K des Wagebalkens aufgehoben, und diese Gegengewichte kommen nun beim Niedergange des Kolbens dem Pumpenhub zu Hülfe, woraus eben die größere Wirkung dieser Einrichtung entspringt.

Es verdient hier bemerkt zu werden, daß Klippstein in Darmstadt, bevor die genaueren Untersuchungen über die Expansivkraft der Wasserdämpfe bekannt wurden, bereits durch Erfahrung an seinen Aeolipilen gefunden hatte, daß sich die Kraft der Wasserdämpfe mit geringem Aufwande von Feuerungskosten ganz ausnehmend verstärken lasse, wenn man den bereits gebildeten Dampf nochmals erhitzt.

Digitized by Google

Sechster Abschnitt.

Von den Eigenschaften der Baumaterialien und ihrer Wahl.

Einleitung.

Wenn ein Hydrotekt die besten und zu seiner Absicht tauglichsten Materialien wählen soll, so muß er ihre Eigenschaften kennen, um ein richtiges Urtheil über ihre Stärke und Dauer fällen, und um sie mit Einsicht anwenden zu können. Es kann aber eben so wenig hier der Zweck seyn, chemische, mineralogische und physische Untersuchungen über die Beschaffenheit der Baumaterialien anzustellen, als die Lithologie in ihrem weiten Umfange vorzutragen, oder eine vollständige Naturbeschreibung der Bauhölzer zu geben, indem eine solche Darstellung für sich ein bedeutendes Werk ausmachen würde.

Schon haben mehrere Schriftsteller, mehr oder weniger, die wichtigsten Theile der Naturwissenschaften für einen Baukünstler abgehandelt, wodurch dem Bedürfnisse einer wissenschaftlichen Lehre über die Baumaterialien abgeholfen wor-

Digitized by Google

den ist. Es soll daher hier nur das Unentbehrliche zur Erkennung der Natur der Baumaterialien vorgetragen werden, um dem angehenden Hydrotekten eine Anleitung zu geben, eine richtige Auswahl und zweckmäßige Anwendung der Baumaterialien zu treffen.

Von den natürlichen zum Wasserbau dienenden Bausteinen.

§. 217. Die Güte der Bausteine hängt ab von dem Grade der Festigkeit, der Härte, und dem Vermögen, der Kälte zu widerstehen, ohne zu zerspringen und in der Luft zu verwittern. Je poröser die Steine sind, desto größere Fähigkeit haben sie Feuchtigkeit einzuziehen, welche des Winters zu Eis friert, wodurch die Steine anschwellen, Risse bekommen, zerspringen und zerbröckeln. Je härter dagegen die Steine sind, desto weniger leiden sie vom Froste, weil alsdann eine außerordentliche Kälte dazu erfordert wird, die darin enthaltene Feuchtigkeit frieren zu machen. Haben die Steine eine gleiche Farbe und ein feines allenthalben gleiches Korn ohne Adern und Löcher, geben sie beim Anschlage mit kleinen Hämmern einen hellen Klang, so ist dies ein Kennzeichen ihrer Festigkeit. Ob die Steine allen Einwirkungen des Frostes und der Nässe widerstehen können, erfährt man dadurch, wenn man sie einen ganzen Winter auf einem feuchten Boden liegen läßt und sie alsdann keine Veränderung zeigen.

§. 218. Die natürlichen Steine, welche vorzüglich zum Wasserbaue gebraucht werden, sind folgende:

1) Sandsteine. Von diesen sind a) die eisenschüssigen, welche in der Luft und im Wasser Feuchtigkeit anziehen, wodurch das Eisenoxyd aufschwillt und den Stein zerblättert, und b) die mergelartigen, welche in der Luft schnell zerfallen, nicht zu empfehlen. Die eisenschüssigen haben eine rothbraune Farbe, die mergelartigen

Digitized by Google

Thongeruch und brausen mit Säuren. Die kalkhaltigen sind dagegen besser, indem sie dichter und härter werden, je mehr sie austrocknen. Allein die vorzüglichsten Sandsteine sind die mit thonigem Bindemittel; denn diese werden in der Luft immer härter und dauern in solcher und im Wasser. Die Regel, welche die Römer nach dem Berichte des Vitruvs beobachteten, die Steine zwei Jahre vor dem Gebrauche, nicht im Winter, sondern im Sommer, zu brechen, damit sie, um die gehörige Festigkeit zu erhalten, sich hinlänglich erhärten und der abwechselnden Witterung in Zukunft widerstehen könnten, verdient, insonderheit bei den Sandsteinen, Berücksichtigung. Man hat bemerkt, daß die Bruchsteine eine größere Last tragen können, wenn sie beim Bau in derselben Richtung angebracht werden, die sie im Bruche hatten, als im entgegengesetzten Falle.

Wenn Sandstein eine Zeit lang im Wasser gelegen hat, und nachher über $\frac{1}{10}$ seines eigenthümlichen Gewichtes schwerer wird, sollte man ihn nicht als Baustein brauchen.

2) Granite. Die den Granit bildenden Stoffe sind Glimmer, Feldspath und Quarz. Die quarzreichern sind die dauerhaftesten. Die feldspathreichern zerweichen und verwittern, und die glimmerreichern lösen sich allmälig in eine thonige Masse auf. Der Granit ist die Grundlage aller bis jetzt bekannten Gebirgsarten in der größten Tiefe und auf dem höchsten Gipfel der Gebirge. So sehr solcher sich auch wegen seiner Härte als Baustein empfiehlt, indem er weder zerweicht noch zerfällt, so schwer ist er auch als Baustein zu bearbeiten.

3) Kalksteine. Jeder gemeine Kalkstein enthält außer Kohlensäure und Kalk auch eine sehr variirende Mischung sehr innig beigemengter erdiger Theilchen, aus Kieselerde, Thon, Metalloxyd u. s. w. Die Kalksteine verwittern mehr oder weniger und gerade von dieser geringern

Digitized by Google

oder größern Eigenschaft hängt ihre geringere oder größere Brauchbarkeit als Baustein ab. Der körnige dichte Kalkstein ist der Verwitterung am meisten unterworfen; der tuffartige, sintrige Kalkstein verwittert dagegen nicht leicht. Je weniger Kalkerde und je mehr Kiesel- und Thonerde die Kalksteine enthalten, desto weniger leiden sie vom Froste.

Der Marmor ist ein körniger Kalkstein. Wegen seiner Dichte und Härte nimmt er Politur an. Man verarbeitete ihn daher schon zeitig zu allerhand Kunstwerken. — In Italien, Frankreich und Deutschland kommen viele farbige und bunte Marmorarten vor. Unter den deutschen ist der von Blankenburg, welcher von allen Farben vorkommt, der beste. Gewöhnlich ist der weiße Marmor, welcher sich in Deutschland findet, von grobem Korn.

4) Der Klingstein, welcher aus Kieselerde, Thonerde, Eisenoxyd besteht, macht die Hauptmasse des Porphyrschiefers aus. Dieser Stein verwittert schwer, und nur auf der Oberfläche, daher er sich zum Wasserbau eignet.

5) Basalt. Durch Verwittern, welches mehr oder weniger stattfindet, je nachdem er sich im Uebergange der Wakke dem Klingsteine, Kieselschiefer, verhärtetem Mergel u. s. w. nähert, löset er sich in fette Thonerde auf. Die am Riesenwege in Schottland stehenden Basaltsäulen, welche, viele Jahrhunderte der ungestümen See ausgesetzt, sich an ihren Ecken gut erhalten haben, beweisen seine Brauchbarkeit zum Wasserbaue.

Von diesen Bruchsteinen bedient man sich derjenigen zur äußern Bekleidung einer Mauer, welche von vorzüglicher Härte sind, und wenn sie der Nässe ausgesetzt werden, nicht verwittern. Zum innern Baukörper kann man sich aller übrigen Steine, als Jaspis, Quarze, Porphyre, Kiesel, Wakken u. a. m. bedienen. Die Feldsteine, welche man zerstreut und

Digitized by Google

uneingewachsen auf Feldern, in Wäldern, Bächen und Flüssen u. s. w. von verschiedener Größe findet, sind allerdings wegen ihrer vorzüglichen Härte zu Bausteinen sehr tauglich, wenn nicht ihre größtentheils runde Gestalt einen tüchtigen Verband verhinderte, und wenn sie nicht als lagerhafte Bausteine zu bearbeiten oder quaderförmig zu behauen sehr schwierig und daher sehr kostspielig wären. Im Innern der Gemäuer können dagegen die Feldsteine mit vielem Vortheile dienen, wenn sie klein geschlagen werden, und dadurch zum Theil gerade Flächen erhalten.

§. 219. Um die Feldsteine zu Bausteinen zu bearbeiten, werden sie vorher entweder mit Pulver oder durch schnelles Abkühlen mit kaltem Wasser, nachdem sie mittelst eines darunter angezündeten Feuers erhitzt worden (Feuersetzen), zersprengt (man sehe Gilly's Handbuch der Landbaukunst). Auch können die Feldsteine durch Keile und Schlägel auf folgende Art gespalten werden. Wenn der Feldstein von der umliegenden Erde an allen Seiten losgegraben ist, so wird die Spaltungslinie mittelst einer mit Kohle überzogenen Schnurlinie durch einen Schnurschlag vorgezeichnet. Darauf wird mit spitzen Pickeln eine nach der Härte des Steins 2 bis 4 Zoll tiefe und breite Rinne eingehauen, und darin auf 4 bis 6 Zoll Abstand gut gestählte eiserne Keile vorsichtig und gleichmäßig zwischen zuvor eingesetzten Blechstücken eingetrieben, bis der Stein spaltet.

Kleine Feldsteine werden mit einem Possekel zerschlagen und lassen sich leichter trennen, wenn man sie auf elastisches Unterlager, etwa von Strauch, legt.

Anmerk. Die Feldsteine veranschlagt man gewöhnlich nach Schachtruthen zu 144 Kubikfuß. Auf 3 Schachtruthen Mauerwerk werden 4 Schachtruthen Feldsteine gerechnet.

§. 220. Um aus den Steinbrüchen regelmäßige Stücke zu gewinnen, so treibt man in ihre Umrisse viele Keile von

Digitized by Google

künstlich getrocknetem Holze ein und begießt sie hierauf mit heißem Wasser. Dadurch schwellen sie auf und zersprengen den Stein. Diese Sprengarbeit heißt Pflocksprengen.

Um Sprengung durch Pulver anzuwenden, haut man eine flache Vertiefung ein und bohrt darin mit einem Meißel oder Kronbohrer Bohrlöcher bis zu 36 Zoll tief ein. Diese werden mit Patronen, welche mit einer langen kupfernen Nadel (Raumnadel) versehen sind, geladen. Auf diese Patronen wird ein Vorschuß aus Sand, Sägespänen u. s. w. mittelst eines in das Bohrloch passenden und mit einer Rinne für die Raumnadel versehenen Ladestocks fest gestampft. Nachdem dies geschehen ist, wird die Raumnadel herausgezogen und an ihre Stelle wird ein mit Pulver gefülltes Röhrchen auf das Pulver in die Mine geleitet. (Man sehe Gilbert's Annalen der Physik, 1806.)

Das Feuersetzen wird nur beim härtesten Gestein angewendet. Die Art, auf welche die Sandsteinbrüche in Kulmbach gesprengt werden, findet man in Wolframs Handbuch für Baumeister, 1. Theil, beschrieben.

§. 221. Um unregelmäßigen Bruchstücken eine regelmäßige Form zu geben, werden sie entweder mit den Steinsägen, die bei weichen Steinen Zähne, bei andere keine haben, nach dem vorgezeichneten Schnurschlage abgesägt, indem man scharfen Sand in den Schnitt streuet und Wasser zutröpfelt, oder auch mit dem Steinmetzen, nach dem von Wolfram beschriebenen Verfahren, bearbeitet. Sind die gewonnenen Bruchstücke sehr hart, so werden sie auf dieselbe Art, wie die Feldsteine, gespalten. Anstatt der in dem vorhergehenden §. angeführten Methode kann man auch auf 6 — 8″ Abstand 1 — 1¼″ breite und 6 — 9″ tiefe Löcher in den Stein einbohren und dann in jedes Loch einen eisernen Keil vorsichtig und gleichmäßig zwischen zweien zuvor eingesetzten halbcylindrischen eisernen Keilen mit den dicken Enden unten eintreiben.

Digitized by Google

Das Bohren der Steine wird am besten mittelst einer von Perronet beim Brückenbau gebrauchten Bohrmaschine, Fig. 199 A und B, bewerkstelligt. Zwei Arbeiter drehen eine Kurbel, die mittelst ihrer Daumwelle einen Hebel g, woran das Seil a mit befestigt ist, niederdrückt. Zugleich geht also der Hebel b auf und nieder, und weil daran das gestählte Bohreisen c fest gemacht ist, dessen Ende einen gestählten Bohrlöffel d bildet, so geht die Bohrung vor sich, welche der an dem Bohrer angestellte Mann verrichtet. Das Schwungrad e dient der Maschinerie zu einer gleichförmigen Bewegung. Auf diese Weise bohrt man Löcher durch ganze Steine, und beim Bau der Brücke zu Neuilly wurde von 3 Mann ein 5′ tiefes und 8″ weites Loch binnen 1½ Tage gebohrt.

Anmerk. Wenn ein Stein nach geraden Flächen durch den Steinmetz bearbeitet werden soll, so ist nach Eytelwein im Durchschnitte ein Zoll Dicke von dem rauhen Steine für jede bearbeitete Fläche abzuziehen, welches man den Arbeitszoll nennt, der jedesmal, wenn die Größe des bearbeiteten Steins bekannt ist, zugelegt werden muß, um die Größe des rauhen Steines zu finden.

Von den künstlichen Steinen — Ziegelsteinen — und ihrer Zubereitung.

§. 222. **Ziegelsteine** nennt man solche künstliche Steine, welche von Lehm und Thon zubereitet und im Feuer gebrannt sind. Die Erfindung der Ziegelsteine ist uralt. Schon im ersten Buche Mosis wird der Thurmbau so beschrieben, daß man Ziegel gebrannt und Asphalt zum Bindemittel der Backsteine genommen habe. Herodot erzählt, daß die Mauern von Babylon aus gebrannter Erde, mit Asphalt verbunden, aufgeführt seyen. In Griechenland wurde wenig mit Ziegeln gebaut; die Römer aber bedienten sich ihrer häufig. — Von der Beschaffenheit der Erde und von ihrer Behandlung, so wie auch vom Brennen, hängt die Güte der Ziegelsteine ab.

Digitized by Google

Fast in allen Schriften über die Baukunst findet man eine ausführliche Beschreibung über das zu den Ziegeln erforderliche Material, sowie auch über dessen Vorbereitung, Formen, Trocknen, Brennen u. s. w. Daher nur das Unentbehrlichste zur Erkennung des Materials, und eine kurze Beschreibung des Verfahrens bei der Behandlung und Zubereitung desselben hier vorgetragen werden soll.

Die Materie, aus welcher die Ziegel verfertigt werden, ist eine lehm- und thonartige Erde, von hell- oder dunkelröthlicher, graulicher oder gelblicher Farbe. Der Lehm muß fett und geschmeidig, wenigstens nicht zu mager seyn, und nicht viele fremdartige Theile enthalten, vorzüglich aber darf er mit keiner kalkartigen Erde vermischt seyn. Enthält der Ziegelthon Schwefelkiese, so zerbersten die Steine während des Brennens; daher wird in diesem Falle, und wenn der Lehm andere verwitterbare schädliche Beimengungen enthält, solcher wenigstens ein Jahr vor dem Gebrauche gegraben und dem Froste und der Witterung blosgestellt, damit im Winter die darin enthaltenen Pflanzentheile verwesen und die Schwefelkiese verwittern können. Auch gewinnt die Ziegelerde dadurch Salztheile, wodurch sie um so vollkommener wird. Die ausgegrabene Ziegelerde darf nicht in großen, dem Wasser undurchdringlichen Massen, sondern nur in schmalen, nicht über 2 — 3′ hohen Haufen, die nach der Länge am besten von Südost nach Südwest laufen und durch Gänge unterbrochen sind, aufgestürzt und von Zeit zu Zeit muß solche umgestürzt werden, damit sie vom Froste und Wetter durchdrungen werden kann. Enthält die Ziegelerde mergelartige Theile, so werden sie im Brennofen zu Kalk gebrannt. Das Entweichen der Kohlensäure während des Brennens trennt den Zusammenhang der Thontheile, und nachher zieht der Kalk aus der Luft Feuchtigkeit an, dehnt sich aus und zerbröckelt so den Stein.

Grober Sand dehnt sich während des Brennens wie Glas aus und zieht sich hernach wieder zusammen, wodurch

Digitized by Google

der Zusammenhang getrennt wird, und dies um so mehr, je schneller solche Steine nach dem Brennen abkühlen.

Ein Eisenoxyd enthaltender Thon, wovon die gebrannten Steine eine hohe ziegelrothe Farbe erhalten, ist der beste; denn das Eisenoxyd erhöht an sich die Härte und Festigkeit der Ziegel. Das Eisenoxyd muß aber möglichst stark oxydirt seyn, da es bei einem geringen Grade der Oxydation leicht Feuchtigkeit anzieht, sich ausdehnt und die Ziegel zerreißt. Daher werden in Holland die Steine für den Wasserbau nach dem Brennen ins Wasser geworfen, wobei Wasser eingesogen und das Oxyd stärker gesäuert wird. Ehe es sich aufblähen kann, werden dann die Steine zum zweitenmal in den Ofen gesetzt und gebrannt. Solche Steine nennt man Klinker. Sie haben eine vorzügliche Härte und Festigkeit und leiden nicht von Wasser und Frost.

§. 223. Wenn die Ziegelerde gehörig ausgewittert ist, so wird sie eingesumpft, d. h. in eine mit Klinkern ausgemauerte oder mit 6zölligen eichenen Bohlen ausgeschaalte, oder mit Rasenstücken ausgesetzte Grube geworfen, und allmälig mit Wasser, welches nur zwei Zoll über der Masse stehen darf, übergossen, in welchem Zustande die Ziegelerde wenigstens 48 Stunden liegen bleibt, damit sich das Wasser in selbige ziehen und sie sättigen könne. Hierauf wird sie aus dem Sumpfe auf einen ausgedielten Tretplatz geworfen, um entweder von Menschen, oder von Pferden und Ochsen durchgetreten zu werden, damit sie geschmeidiger und zum Bearbeiten geschickter werde. Während dieses Durchtretens muß die Ziegelerde angefeuchtet und es müssen alle schädliche Theile so viel als möglich herausgeworfen werden. Je mehr die Masse durchgetreten wird, desto besser kann das Wasser in die allerkleinsten Theilchen der Ziegelerde eindringen, sie erweichen und auflösen. Man hat auch Knetmaschinen, um die Bearbeitung der Masse zu bewerkstelligen. In Schönauers Ziegelhüttenkunde sind Triewaldts und andere dergleichen Knetmaschinen abgebildet.

Digitized by Google

§. 224. Ist die Ziegelerde zu fett, so wird sie während des Austrocknens, indem sie sehr viel Wasser in sich aufgenommen hat, schwinden. Dieses Schwinden veranlaßt öfters, daß die Steine bersten, wenn das Austrocknen zu schnell und stark erfolgt. Die Ziegelerde muß daher mit so vielem guten fein- und scharfkörnigen, nöthigenfalls durch Schlämmen gereinigten Sand, als nöthig ist, um das Aufreißen beim Schwinden zu verhüten, oder auch besser mit gebranntem, fein gestoßenem Thone aufs innigste und gleichmäßigste vermischt werden. Ist die Ziegelerde zu mager, so muß sie einen Zusatz von fettem Thon erhalten.

Nach geschehener Mischung und gehöriger Bearbeitung wird die Masse (Ziegelgut) zum Formen der Steine gebraucht. Zu bemerken ist, daß die Form (das Modell, worin die Ziegel geformt werden) um so viel größer seyn muß, als der Raum beträgt, den die Steine durch das Schwinden verlieren. Nach Wolfram muß die Form, wenn die Ziegel 1 Fuß Länge haben sollen, noch um $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{4}$ Zoll größer seyn. Derselbe sagt, daß die drei Abmessungen eines parallelepipedischen Steins sich so verhalten müssen, daß die doppelte Breite mit einer Kalkfuge der Länge, und die doppelte Dicke mit einer Kalkfuge der Breite gleich wird. Wenn also die Länge mit L, die Breite mit B, die Dicke mit D, und die Stärke einer Kalkfuge mit K bezeichnet wird, so ist

$$B = 2D + K \text{ und}$$

$$L = 2B + K = 2(2D + K) + K = 4D + 3K$$

Die Kalkfuge darf nicht mehr, als $\frac{1}{4}$ Zoll betragen.

Die beste Zeit zum Streichen sind die Sommermonate, denn in dieser Jahreszeit trocknet die Erde am besten aus.

§. 225. Sind die Steine gestrichen und gehörig im Streichschauer ausgetrocknet, so werden sie im Brennofen auf die hohen Kanten $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{4}$ Zoll von einander aufgestellt, damit die Flammen des Feuers sie gleichförmig durchströ-

Digitized by Google

men können, und um der Wärme während des Brandes eine zweckmäßige Leitung zu geben, müssen die Feuerzüge auf die reihenweise angelegten Oeffnungen im Gewölbe treffen, durch deren Oeffnen oder Verschließen der Ziegler während des Brandes die Hitze leitet.

Es wird zuerst am Anfange des Ofens ein nicht starkes Feuer (Schmauchfeuer) angemacht, damit die Steine allmälig ausschwitzen können, da sie bei einem gleich anfangs starken Feuer zerspringen würden. Dieses Schmauchfeuer darf nur dann ins Mittelfeuer übergehen, wenn sich aller dicke, dunkle Qualm und Rauch verloren hat; dann wird mit diesem fortgefahren, bis eine weiße Flamme dem Ziegler das Garseyn der Steine ankündigt. Hierauf werden alle Luftzüge verschlossen und die Schürlöcher vermauert, der Ofen aber bleibt so lange verschlossen, bis er sich nebst den Steinen abgekühlt hat; bei einem zu frühen Aufmachen würden die Steine zerspringen.

Zu dem Brennen der Ziegel und der andern Arbeit sind bei einem Ofen, in welchem 20,000 bis 30,000 Ziegel eingesetzt werden können, 14 bis 19 Tage nöthig; nämlich 2 bis 3 Tage zum Einsetzen, 9 Tage zum Brennen, 5 Tage zum Abkühlen im Ofen, 2 Tage zum Auskarren.

Auf den Brand von 1000 Steinen rechnet Wolfram im Herbste 1 Klafter, im Sommer $\frac{3}{4}$ Klafter, im Winter $1\frac{1}{4}$ Klafter Holz.

§. 226. Wenn bei der Bearbeitung der Ziegel alle erforderliche Sorgfalt angewandt und die gehörige Vorsicht beim Brennen derselben gebraucht wird, so können gut gebrannte Ziegel oder Klinker den Mangel an Werkstücken ersetzen, wenn nur die vorspringenden Ecken bei einer Futtermauer mit Werkstücken ausgesetzt werden. Milizia (s. dessen Grundsätze der bürgerlichen Baukunst. Aus dem Italienischen von C. L. Stieglitz. 3. Theil, Leipzig, 1824) führt als einen Beweis von der Dauer und Festigkeit der Ziegel an, daß die ungeheuren Pfeiler von der Brücke des Caligula

Digitized by Google

zu Puzzuoli noch stehen, obgleich die Wellen des Meeres unaufhörlich daran schlagen, und bemerkt ferner, daß man mit Fleiß davon Stücke abhaut, um sie statt des Marmors zu gebrauchen.

Daß die Ziegel an der Außenseite, welche dem Wasser und Wetter ausgesetzt ist, mittelst eines befeuchteten feinen Holzes abgeschliffen werden, bis sie die gehörige Feinheit haben, ist allerdings sehr vortheilhaft, weil sich das Wasser nicht einziehen und der Same von Moos und andern Pflanzen nicht so anlegen kann.

In Holland wendet man zur Erreichung dieser Absicht eigene Maschinen an.

§. 227. Die Einrichtung eines Ziegelbrennofens kann hier um so mehr übergangen werden, da Gilly in seiner Anweisung zur Erbauung und Errichtung der Torfziegelöfen (Berlin 1790) eine ausführliche Beschreibung und Abbildung desselben gegeben hat. Auch beschreibt derselbe in seinem Handbuche der Landbaukunst den Rost der brombergischen Kanalziegelei.

Der mehrere oder mindere Grad des Brennens giebt den Ziegeln eine größere oder geringere Festigkeit und Aneignung zum Mörtel; je stärker die Ziegel gebrannt sind, desto leichter zerspringen sie, besonders in abwechselnder Witterung. Sie ziehen aber dann um so weniger Wasser ein, in so fern nicht noch halb oxydirtes Eisen diese Anziehung befördert, in welchem Falle man sie ins Wasser legt und sie zum andernmale brennt, wie oben bemerkt worden ist. Durch dieses zweite Brennen erhält der Ziegel eine dunklere Farbe und eine größere Härte, saugt wenig Wasser ein und widersteht der Witterung besser. Der Ziegel ist calcinirt, wenn er anfängt sich zu verglasen, einen glasartigen Bruch und eine eisengraue Farbe hat. Ist die Oberfläche der Ziegel verglaset, so haften sie nicht mehr mit Mörtel und werden dadurch unbrauchbar.

Diejenigen Ziegel, welche den heftigsten Brand ausgestanden haben, als die Mundsteine, die das Schloß, das

Digitized by Google

Gewölbe, die Bänke (diejenige Mauer, worauf die Steine zum Brennen gepackt werden) oder Widerlage der Feuerzüge bilden, sind unbrauchbar.

Eine sorgfältige Auswahl der gebrannten Ziegel für ihre Brauchbarkeit zu verschiedenen Zwecken ist daher allerdings nöthig.

Wenn aber die Ziegel nicht auf eigenen dazu angelegten Ziegeleien bereitet worden, und man bereits fertige und vorräthige Ziegel ankaufen muß, so kann man auf folgende Art die Güte der Ziegel erproben.

1) Sie müssen, wenn man sie einen Winter hindurch der Nässe und dem Froste aussetzt, sich nicht verändern,
2) nur so viel Wasser einziehen, als zur Verbindung mit dem Mörtel erforderlich ist;
3) beim Anschlagen einen hellen Klang geben, im Bruche muß keine ungleichförmige Mischung der Ziegelmasse oder kleine Steine sichtbar werden, sie müssen nach Verhältniß ihrer Größe merklich leicht seyn, und ins Wasser gelegt nicht ihre Farbe verändern;

Um die Anzahl der Steine zu finden, welche auf jeden Kubikfuß oder auf jede Schachtruthe Mauerwerk erfordert wird, darf man nur nach Eytelwein mit dem Inhalte des Steines, wenn vorher einer jeden seiner Dimensionen die Dicke der Kalkfuge zugerechnet ist, in 1728 dividiren, so erhält man die Zahl der Steine auf jeden Kubikfuß, und wenn dieser Quotient mit 144 multiplicirt wird, so giebt dies die auf jede Schachtruthe erforderlichen Steine.

Vom Kalk und Mörtel.

§. 228. Schon in den frühesten Zeiten haben mehrere Gelehrte und Baumeister sich bemüht, Untersuchungen über die Zusammensetzung und Eigenschaften des Mörtels anzustellen. Allein den bedeutenden Fortschritten, welche die

Digitized by Google

Chemie in den neuern Zeiten gemacht hat, verdanken wir den uns gewiesenen Weg, auf welchem, wenn wir ihn verfolgen, eine gründliche Theorie über diesen Gegenstand erlangt werden kann. — Zu derselben Zeit, als L. J. Vicat Versuche und Untersuchungen über die verschiedenen Arten von Mauerkalk, Wassermörtel und gewöhnlichem Mauermörtel anstellte (m. s. Recherches expérimentales sur les chaux de construction, les bétons, et les mortiers ordinaires; par L. J. Vicat. Paris 1818), beschäftigte auch John in Berlin sich mit demselben Gegenstande (Ueber Kalk und Mörtel im Allgemeinen, nebst Theorie des Mörtels von J. F. John, Berlin 1819) und wurde durch bloße chemische Analyse mit sehr geringen Abweichungen auf dieselben Resultate geführt als Vicat, wodurch die alte Theorie des Mörtels über den Haufen geworfen und die Kenntniß desselben auf einen durchaus neuen Standpunkt gestellt worden ist. Es werden daher in der Darstellung dieses Gegenstandes diese beiden Werke hier zum Grunde gelegt werden.

§. 229. Die wesentlichsten Bestandtheile des rohen Kalksteins sind Kalkerde, Kohlensäure und Wasser. Ueberschüttet man die Kalksteine mit einer Säure, so entweicht die Kohlensäure. Ist die daraus entstehende Auflösung klar, so kann man den Kalk durch eine Auflösung des kohlensauren Kalis im Wasser niederschlagen. Ist die Auflösung des Kalksteins nicht klar, so läßt man sie sich erst abklären, dann löset man sie vom Bodensatze ab, worauf man den Kalk wie oben, durch kohlensaures Kali niederschlägt. Durch eine solche chemische Zerlegung lassen sich die Bestandtheile eines Kalksteins genau angeben. Nach Eytelwein ist der Kalkstein zum Kalkbrennen geschickt, wenn er etwa von seinem ganzen Gewichte die Hälfte Kalkerde, $\frac{2}{5}$ Kohlensäure, $\frac{1}{10}$ Wasser und zwischen $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{10}$ fremde Stoffe, als Thonerde, Kieselerde, Eisen u. s. w. enthält.

Wird der rohe Kalkstein in einem Ofen einer glühenden Hitze ausgesetzt, so entweicht aus demselben die Koh-

Digitized by Google

lensäure zugleich mit dem im Steine gebundenen Wasser. Die Kalkerde bleibt alsdann, mit Wärmestoff gebunden, als gebrannter oder lebendiger Kalk zurück, welcher seine Beimischung von Kohlensäure und Wasser verloren hat. Ist der Kalk gehörig gebrannt, so muß er sich schnell und vollständig im Wasser auflösen. Wird er zu stark gebrannt, so läßt er sich schwer löschen, und bleibt oft mehrere Stunden liegen, ehe er aufgeht. Ist der Kalk völlig gar gebrannt, so daß er keine Kohlensäure mehr enthält, so hat er, nach Wolfram, im Allgemeinen $\frac{1}{10}$ seines ersten Gewichtes, aber vom körperlichen Inhalte nichts verloren. Je mehr fremde feuerbeständige Theile der Kalkstein hat, desto weniger wird er vom Gewichte verlieren können.

In den neuen Versuchen über den Kalk und Mörtel von Vicat und Andern, (aus dem Franz. übersetzt, Berlin 1825) sagt der Verfasser, daß die Calcinirung sich nicht darauf beschränke, dem Kalksteine das Krystallisationswasser und einen Theil der Kohlensäure zu entziehen; sie veranlasse auch eine wechselseitige Wirkung der den Kalkstein bildenden Oxyde auf einander, denn die Versuche bewiesen, daß die dem Kalke beigemischten fremden Theile durch die Calcinirung eine Veränderung erlitten. Es könne daher magern Kalk geben, der nicht hydraulisch sey, d. h. der gewöhnlich gebrannt, ohne Zuthat eines fremden Bestandtheiles, nicht in Kurzem unter Wasser erhärte

Der gebrannte Kalk zieht aus dem Luftkreise Feuchtigkeit an, daher man ihn vor feuchter Luft schützen muß. Wenn man den Kalk, sobald er aus dem Ofen kommt, mit einer hinreichenden Menge Wasser überschüttet, so springt er mit Geräusch auseinander, dehnt sich aus, bildet einen beträchtlichen, heißen, kaustischen Dampf und löset sich endlich in einen dicken Brei auf, denn das Wasser geht aus einem flüssigen in einen festen Zustand über — es wird gebunden. Der im flüssigen Wasser gebundene Wärmestoff wird dagegen frei und es entsteht ein hoher Grad von Erhitzung. In diesem Zustande heißt er gelöschter Kalk. Beim

Digitized by Google

Löschen kann man den Kalk ersaufen, indem man zu viel Wasser dazu nimmt, wobei die Kalktheilchen sich zu sehr von einander entfernen und ihren Zusammenhang verlieren. Die Versuche des Ritters Cadet de Gassicourt, welche Wolfram angeführt hat, beweisen deutlich, daß bei Ueberschreitung einer Grenze im Verhältniß des Wassers zum Kalke die Löschung selbst unvollkommen ist. Auch äußert nach Vicat's Versuchen die bei der Löschung angewandte Wassermenge oder der Grad der Derbheit des Breies einen großen Einfluß auf die Härte des Kalkhydrats. Um einen vollständig aufgelösten Kalkbrei zu erhalten, muß man gleich anfangs hinreichend Wasser zugießen, oder das Erkalten abwarten, ehe man neues zugießt. Die gemeinen, sehr fetten Kalke nehmen, in dicken Brei aufgelöst, nach Vicat bis 3,10 Mal ihren vorigen Raum ein; manche hydraulische Kalke nur 1,20.

Zum Löschen des Kalks ist Regen-, Schnee- und Hagelwasser das beste, weil dieses nur wenig Kohlensäure enthält; dann folgt Flußwasser. Quellwasser ist hierzu das allerschlechteste. Vom Fluß- oder Quellwasser ist wieder das frischeste oder härteste das untauglichste. Forster hat, in seiner Anleitung den Kalk und Mörtel zu bereiten, Vorschriften über die Zurichtung des Wassers zum Löschen gegeben.

§. 230. Wird der Kalk mit Sand gemischt, so erhält man den gewöhnlichen Mauermörtel. Die Erhärtung des Mörtels hat man auf verschiedene Arten zu erklären gesucht. John sagt: „die neuern Chemiker und Architekten waren bisher der Meinung, daß die Mörtelerhärtung eine Regeneration des Kalksteins sey; sie hielten dafür, daß das Kalkhydrat die Feuchtigkeit verliere und Kohlensäure aus der Luft anziehe, und daß die dadurch erhärtete Masse sich an den Sand des Mörtelgemenges und die Oberfläche der Mauersteine fest anlege.“ Diese Ansicht, sagt der Verfasser der neuen Versuche von Vicat über den Kalk und Mörtel ist keinesweges unrichtig, aber die Erhärtung des Mörtels

erfolgt auf diese Art nur unter gewissen Umständen und in wenigen Fällen, denn nach John's angestellten Untersuchungen enthält ein sehr erhärteter Wassermörtel nur wenig Kohlensäure, dagegen Kieselerde, Thonerde und Kalk in einem solchen Verhältnisse, daß es scheint, als wenn beide einen gewissen Sättigungsgrad erreicht haben. Ferner zeigten die von John angestellten Versuche, daß der gemeine Kalkstein durch das Brennen nicht allein seiner Feuchtigkeit und Kohlensäure beraubt werde, sondern daß auch ein Theil des Kalkes mit den höchst feinen, so zu sagen staubartigen, Erdtheilchen aus Kiesel, Thon und eigentlichen Metalloxyden, die in dem rohen Kalkstein im Zustande eines sehr innigen Gemenges vorhanden sind, in chemische Verbindung tritt. Der so beschaffene gebrannte Kalkstein geht nun mit Wasser eine innige, unter dem Namen Kalkhydrat bekannte Verbindung ein und diese bildet mit einem Ueberschuß des Wassers den Kalkbrei, welcher für sich oder mit grobem Sand zur Mörtelmasse gemengt, das Wasser verdunstet und erhärtet; und die erhärtende tafelspathartige Verbindung aus Kieselerde, Thonerde, Eisenoxyd u. s. w. (welche John das wahre Cement im Mörtel nennt) dient der erhärtenden Masse als das innigste Bindungs- und Verkittungsmittel. Je größer daher die Menge jenes Cements ist, desto härter und vorzüglicher ist auch der Mörtel. Der sehr reine Kalk, welcher diesen Cement nicht enthält, wozu alle sehr fetten Kalke, als Muschelschalen, Marmor u. s. w. gehören, erhärtet also auf diese Art nicht, und kann nur dadurch dazu fähig gemacht werden, daß ihm die zum Cement fehlenden Substanzen vor dem Brennen zugesetzt werden. Hierauf beruht Vicat's Vorschlag, den fetten Kalk durch Beimischung von Thon und nochmaliges Brennen in hydraulischen oder solchen Kalk zu verwandeln, der die zu dem von John sogenannten Cement erforderlichen Beimischungen enthält. Während Vicat den Versuch mit Thon anstellte, verwandelte John reinen Kalk in hydraulischen durch eine Beimischung von Kieselerde vor dem Bren-

Digitized by Google

nen. Eine Zubereitung des künſtlichen hydrauliſchen Kalks findet man in der Ueberſetzung von Vicat's Schrift S. 91.

Dieſe von John und Vicat gemachten, höchſt wichtigen Entdeckungen werden in der Folge für die Baukunſt von der fruchtbarſten Anwendung ſeyn. Wenn in der Zukunft durch fernere Verſuche ausgemittelt wird, welches das beſte Miſchungsverhältniß der Grundbeſtandtheile des hydrauliſchen Kalks, oder des gleichbedeutenden, von John ſogenannten Cements iſt (welches Miſchungsverhältniß übrigens nach Verſchiedenheit des Orts, wo der Kalk angewandt wird, der Beimiſchung, die zur Mörtelbereitung hinzugeſchlagen wird, der Beſchaffenheit der Mauerſteine u. ſ. w. verſchieden ſeyn muß), ſo wird man im Stande ſeyn, jeder Kalkart durch Zuſätze und nochmaliges Brennen die gewünſchte Beſchaffenheit zu geben, indem man z. B., wie es Vicat und John gethan haben, den fetten Kalken Kieſel und Thonerde zuſetzt, den zu magern aber reinen Kalk beimengt.

Eine vollſtändige Beſtätigung der Vicatſchen Verſuche, und die Anwendung derſelben im Großen, enthält das in Petersburg erſchienene Werk:

Traité sur l'art de faire de bons mortiers et Notions pratiques, pour en bien diriger l'emploi, précédé d'expériences récentes faites sur les chaux de France et de Russie par Raucourt de Charleville. St. Petersburg 1822.

Dieſes Werk giebt mehrere neue Aufſchlüſſe, namentlich über die Bereitung des künſtlichen hydrauliſchen Kalks, die in dem Vicatſchen Werke mangeln.

§. 231. In dem vorhergehenden §. iſt nicht nur die Art der Erhärtung des Mörtels erklärt, ſondern auch die Erhärtung durch Verbindung mit dem Cement auf trockenem Wege, nämlich durch Brennen, dargeſtellt worden. Die zweite Art der Erhärtung des Mörtels geſchieht durch Zuſätze nach dem Brennen. John ſchloß aus dem hierüber

Digitized by Google

angestellten Versuche, daß die früher vermuthete Verbindung des Kalks mit dem Cemente nach dem Brennen nicht stattfinde, und gründete darauf die Behauptung, daß die gewöhnlichen Ansichten von der Verbesserung des Mörtels, einzig durch Zuschläge nach dem Brennen, worauf man ein vermeintliches Geheimniß der Alten bei der Bereitung des Mörtels gründen wollte, falsch seyen. Durch Erfahrung ist John zu der Ueberzeugung gelangt, daß eine mit gestoßenen Ziegelscherben gemengte Mörtelmasse nicht von demjenigen Mörtel abweiche, welcher aus einem Gemenge von grobkörnigem Sande bereitet ist. Er sieht daher, wie früher schon andere Chemiker, die Gemengtheile im Mörtelbrei blos als etwas Passives an, die einzig dazu dienen, die Masse zu vermehren, damit der Mörtel aller Orten, ohne Kalkverschwendung, die Lücken und Unebenheiten des Mauerwerks ausfülle. Er schreibt die größere Härte des Mörtels, die durch Zusätze von Pozzolanen, Traß u. s. w. bewirkt wird, blos der Porosität dieser Beimischungen zu und hält auch diese Wirkung für sehr gering, wenn diese Körper völlig von dem Wasser durchdrungen sind und der Zufluß des Wassers fortwährt, weswegen auch frische Mauerspeise mit Traß oder Ziegelscherbenpulver in strömendem Wasser eben so leicht zerfällt, als Sandmörtelbrei. Er ist daher der Meinung, daß jede Art steinige Masse, welche mit ätzendem Kalk adhärirt, sowohl in Pulver- als Körnerform zur Mörtelbereitung dienen könne, wenn man sie in dem Verhältnisse beimengt, daß die Continuität der Kalktheilchen nicht unterbrochen wird.

Diese Ansicht ist von dem Uebersetzer der Vicatschen Schrift und von Vicat in einem spätern Aufsatze in den Annales de Chemie et Physique, 1822 hinreichend widerlegt worden, und die Verbindung des Kalks mit dem Cement als Ziegelmehl, Pozzolanen, Traß, Steinkohlenasche u. s. w. völlig erwiesen. Der Umstand, daß Mörtel, mit Cement auf diesem sogenannten nassen Wege verbunden, auch für Mauern an der Luft von vorzüglicher Brauch-

Digitized by Google

barkeit, ist vorzüglich die Ursache von der Vortrefflichkeit des römischen Mörtels. Man lese das, was Hirt, nach Vitruv, in seiner Baukunst nach den Grundsätzen der Alten, darüber sagt, und man wird finden, daß sie fast immer mit Absicht, oder weil die Natur ihnen ein solches Material in die Hände gab, sich der Cemente zu ihrer Mörtelbereitung bedienten.

Aus Vicat's Versuchen geht hervor, daß manche Cemente für eine Art Kalk, und andere wieder für andere passend sind. Dies hängt unfehlbar von den fremdartigen, dem Kalke beigemischten Substanzen ab, und ein ganz reiner Kalk wird einen andern Cement erfordern, als ein Kalk, der schon mit andern Bestandtheilen gemischt ist. — Angestellte Untersuchungen über diesen Gegenstand, und namentlich das beste Mischungsverhältniß zwischen Kalk und den übrigen Theilen des Cements aufzufinden, sind daher sehr wichtig. Wenn nun auch keine allgemeine Regel für die Zubereitung des Mörtels und des Cements und für ihre Mischungsverhältnisse gegeben werden kann, so soll doch kürzlich darüber im Allgemeinen Folgendes bemerkt werden.

Die Dauerhaftigkeit des Mörtels hängt größtentheils von dem richtigen Verhältnisse des Sandes zum Kalke und von der Güte dieser Materialien ab. Ob der gegrabene Sand, der Flußsand oder Meersand den Vorzug verdiene, darüber sind die Baumeister nicht einig.

Rondelet sagt, daß nicht der Ort, wo der Sand hergenommen ist, sondern die Bestandtheile, aus denen er besteht, die Güte desselben ausmachen.

Wenn der reine Kalk (fette Kalk) mit Wasser gemischt wird, so trocknet er nach und nach aus und bildet eine feste Masse, oder das trockene Kalkhydrat. Dieser Fall tritt jedesmal dann ein, wenn der Kalk mit einer Substanz, als z. B. Quarz, gemischt ist, auf die er nicht chemisch einwirkt. Daher ist nach Vicats Versuchen Quarzsand der schlechteste von allen Sandarten. Fetter Kalk mit sehr kieselhaltigem

Digitized by Google

Sande gemiſcht, giebt keinen Mörtel, der ſich in der Luft und unterm Waſſer erhärtet.

Loriot hat alſo in Betreff des fetten Kalkes Recht, den Sand blos als Ausfüllungsmittel anzuſehen, und das von ihm erdachte Mittel, dem Kalk durch Beimiſchung von ungelöſchtem Kalkſtaub mehr Dichtigkeit zu geben, iſt ganz zweckmäßig, liefert aber nach Vicat keine großen Reſultate. Den Kalk kann man doch nicht ohne Sand gebrauchen, weil er als Hydrat zwar eine ziemliche Feſtigkeit erlangt, aber ſich ſehr zuſammenzieht und alſo in der Mauer eine Menge Riſſe bekommen würde. Die Beimiſchung des Sandes verhindert oder verringert dagegen dieſe Zuſammenziehung des Kalkes, kann ſie aber nicht ganz aufheben. Aus dieſer Urſache kömmt es, daß in den gewöhnlichen Gebäuden der Mörtel ſo oft in Staub zerfällt und ſo geringe Verbindung zeigt; denn wenn auch die Kohlenſäure der Luft ſchneller in dieſen lockern Mörtel eindringt, ſo iſt ſie doch nicht im Stande, die einzelnen getrennten Theile mit einander zu verbinden. Gewöhnlich aber dringt die Kohlenſäure nur ſehr langſam in das Mauerwerk hinein, und verbindet ſich ſtets nur mit den äußern Theilen des Mörtels. Das Innere einer nur etwas dicken Mauer, ſo wie auch die Fundamente gewinnen durch ſie gar nichts, oder nur ſehr wenig. John's und Vicat's Verſuche beweiſen dies hinlänglich. Die Wirkung der Kohlenſäure, welche nicht allein die Erhärtung des Mörtels befördert, wie man bisher glaubte, wird erſt nach vielen Jahrhunderten eintreten, wenn ſie von einiger Bedeutung ſeyn ſoll. Indeß ſpielt die Kohlenſäure ſtets bei dem Mauerbewurfe eine bedeutende Rolle, und für dieſen ſcheint der reine oder fette Kalk von vorzüglicher Anwendung zu ſeyn. Man ſieht hieraus, daß verſchiedene Umſtände ſich vereinigen, um die Verhärtung des gewöhnlichen Mörtels zu hindern.

§. 232. Je mehr Berührungsflächen die Sandkörner einander darbieten, deſto größer wird die Cohäſion des Mörtels, wenn zwiſchen jeder Berührungsfläche ſo viel Kalkmaſſe

Digitized by Google

ist, als zu der nothwendigen Fermentation gehört. Jedes einzelne Korn muß sich in Kalk einhüllen, aber diese Hülle darf nicht dick seyn. Mörtel aus eckigem Sande mit dem gehörigen Kalke vermischt, ist besser, als Mörtel aus abgerundeten Sandkörnern. Man wähle daher möglichst scharfeckige Sandkörner, welche bei einer bestimmten Größe die größtmöglichste Oberfläche haben.

Vicat hat durch Versuche gefunden, daß die schnelle Austrocknung sowohl dem gemeinen als dem hydraulischen Mörtel nachtheilig ist. Da es nun nicht möglich ist, den Mörtel in dem feuchten Zustande zu erhalten, der seiner Erhärtung am zuträglichsten ist, so muß man wenigstens dafür sorgen, daß die Austrocknung unmerklich und stufenweise vor sich gehe.

Einige glauben, daß die Römer absichtlich groben mit feinem Sand zu ihrem Mörtel vermengt haben, um ihm einen hohen Grad der Härte zu geben. John ist aber durch Untersuchung der alten Mauerruine zu Köln, welche unter Agrippina gebaut ist, überzeugt, daß sie ohne Absicht den Sand, wo sie ihn fanden, genommen haben. Dieser Mörtel ist indeß von einer ungeheuren Härte und ist mit dem 2 bis 4 Zoll großen Geschiebe, welches man am Rheinufer findet, vermischt. John glaubt, daß dieses Geschiebe nur zur Ausfüllung des Raumes diente.

§. 233. Ueber das Verhältniß des Sandes zum Kalke kann man keine allgemeine Regel geben, da jede Kalkart eigenthümliche Erscheinungen darbietet und es darauf ankommt, inwiefern die Mischung Gelegenheit hat, theils chemisch auf einander zu wirken, theils Kohlensäure aus der Luft an sich zu ziehen. Man thut daher am besten, Versuche über den Einfluß des Mischungsverhältnisses auf die Festigkeit des Mauermörtels anzustellen, um darüber mit Einsicht urtheilen zu können und aus dem Resultate das richtige Verhältniß in der Mischung des Sandes und Kalkes zu Mörtel zu bestimmen. Wolfram sagt, daß der Baumeister nur die Zwischenräume seines Sandes zu untersuchen

Digitized by Google

hat, um das richtige Mischungsverhältniß zu bestimmen, und giebt die allgemeine Regel, für einen bereiteten Mörtel, wobei die Zwischenräume des Sandes mit Kalk überfüllt sind, daß man so viel an gelöschtem Kalk zu viel genommen hat, soviel man mehr Mörtel erhält, als man Sand verwendet hat.

§. 234. Die Löschungsart des Kalkes ist die vorzüglichste, welche ihn am besten und innigsten mit dem Wasser verbindet. Vicat giebt drei verschiedene Löschungsarten an, und bemerkt, daß die erste Löschungsart, welche oben angeführt ist, die besten Resultate giebt. Wolfram und Andere sind der Meinung, daß das Aufbewahren des gelöschten Kalkes in Gruben sehr vortheilhaft sey. John verwirft es aber deswegen, weil der Kalk in schlecht verschlossenen Gruben Kohlensäure an sich ziehe, und dadurch die Fähigkeit verliere, durch Verbindung derselben späterhin zu erhärten. Wird er hiernach zum Mörtel bereitet, so muß neues Wasser zugegossen werden, und da die Erhärtung des Kalkes mittelst des am Kalke befindlichen natürlichen Cements schon in der Grube erfolgt ist, so muß nothwendig ein sehr schlechter Mörtel daraus entstehen. Daraus folgt, daß nur bei sehr fettem Kalke die Einsumpfung oder das Einsammeln des gelöschten Kalkes in Gruben ohne Nachtheil seyn wird, aber es läßt sich durchaus nicht einsehen, sagt der Uebersetzer der Vicatschen Schrift, wie dieselbe zu einer Verbesserung des Mörtels beitragen könne. Höchstens wird der Kalk durchs Wasser besser aufgelöset. Dies kann aber in einem Zeitraume von ein paar Tagen geschehen.

Da in den Mörtelstücken, von frisch gelöschtem Kalk bereitet, fast immer unaufgelöste Kalkkörner vorkommen, so erhellet hieraus die Nothwendigkeit, den Mörtel möglichst durchzuarbeiten und zu mischen, und die Bestandtheile derselben möglichst nahe und gleichförmig in Berührung mit einander zu bringen.

§. 235. Die Güte des Mörtels, sagt John, hängt von der Aetzbarkeit des Kalkes ab. Völlig durch Brennen entkohlensäuerte Kalkarten geben einen bindenden und festen

Digitized by Google

Luftmörtel, auch ohne Gegenwart des Cements. Allein die Güte desselben nimmt in dem Verhältnisse ab, in welchem die Kalkatome Kohlensäure enthalten, sey es durch schlechtes Brennen oder durch lange Berührung mit der Luft. Kohlensäure absorbirt aber Kalkbrei schon in einigen Tagen, und dadurch wird die Cohäsion der Mauerspeise sehr geschwächt. Zu langes Einsumpfen des Kalkes in Gruben, welche nicht gut gegen den Luftzutritt geschützt sind, bleibt daher immer unsicher.

§. 236. Es kann der Mörtel durch solche Zusätze verbessert werden, welche mit dem Kalke eine sehr intensive Verdichtung eingehen, und die Cohäsion der Theilchen vermehren; denn es kommt alles darauf an, die Adhäsion des Kalkbreies und der Steinplatten zu bewirken und zu vermehren. Da nun die Erfahrung lehrt, daß der mit Cementen, als gebranntem Thon, zerstoßenenen Ziegelscherben, Hammerschlag, Traß, Pozzolanerde und einigen andern damit verwandten Stoffen angefertigte Mörtel im Wasser sich vollkommener erhärtet, als derjenige, welchem Cemente fehlen, so ist jener bei Wasserbauten der vorzüglichste, weil das Wasser dieses Cement nicht auflöset, sondern nur einen Theil des Aetzkalkes wegnimmt.

Es lehren aber die Resultate der von Mehreren angestellten Versuche, daß, wie oben bemerkt worden, manche Cemente für eine Art Kalk, und andere wieder für andere passend sind. Es lassen sich daher nicht im voraus, weder die Gemengtheile noch das Mischungsverhältniß bestimmen, welche der Absicht entsprechen, den Kalkbrei in einen solchen Mörtelbrei zu verwandeln, daß weder die bindende Kraft des Cementes vermindert werde, noch daß die Zusätze weicher sind, als jenes im völlig erhärteten Zustande. Die Erfahrung lehrt, daß diejenigen Steine sich am besten mit dem Mörtel verbinden, auf die der Kalk wie auf einen Cement chemisch wirkt, oder, mit andern Worten, die Aehnlichkeit mit den Cementen haben. Man muß es daher jedem Baumeister überlassen, die Materialien, die er zur Hand

Digitized by Google

hat, in dieser Hinsicht zu untersuchen. Mit Rücksicht hierauf übergehen wir hier die Angabe der Gemengtheile und ihre Mischungsverhältnisse, und dies um so mehr, da mehrere Schriftsteller, als Vitruv (2 B. 6 Cap. 5 B. 12 Cap.), Belidor (Ing. Wissensch. 1. Th. 3. Bd. 5. Cap.), Forster (Anleitung, den Kalk und Mörtel zu bereiten, neue Auflage, Berlin 1821), Faugas de Saint Fond (Récherches sur la Pozzolane sur la théorie de la chaux et sur la cause de la dureté du mortier, Paris 1778), Gersdorf (von der Pozzolane und deren nützlichem Gebrauch 1784), Ziegler (Beantwortung der Preisfrage über die Ursachen der Festigkeit alter römischer und gothischer Gebäude, Berlin 1776), Loriot (Abhandlung über eine neue Art von Mörtel u. s. w. Aus dem Franz. Bern 1775), Maillard (Sammlung von Versuchen über die Eigenschaften und Zubereitung der verschiedenen Cemente und Cementmörtel, 2te Aufl., Pesth, 1820), Patte (Mercure de France 1774), William (Repertory of arts 1780), Smeaton (m. s. Woltmanns Beiträge, 3ter Band.), Eytelwein (prakt. Anweisung zur Wasserbaukunst, 3tes Heft, Berlin, 1820), Voit (über die Bereitung guter Mörtel, in Dingler's polytechnischem Journal, 1821, 4 Bd.), Wolfram (a. a. O.) u. a. m., sich bemüht haben, das Verhältniß der Gemengtheile eines erhärteten Mörtels zu bestimmen; nur soll das Unentbehrliche zur Erkennung des Traßes und der Pozzolane dargestellt werden. Man höre aber zuvörderst, was Niemeyer in seinen Beobachtungen auf einer Deportationsreise nach Frankreich, im Jahre 1807 (1ste Hälfte, Halle 1824) wegen der vom Professor Fleuret zu Pont-a-Mousson erfundenen Fabrication künstlicher Steine erzählt.

„Die außerordentliche Festigkeit und Dauer der Mauerwerke bei den Alten, verglichen mit der leichten Zerstörbarkeit der neuern, hatte Fleuret zuerst veranlaßt, Untersuchungen über die Art und Weise, wie jene den Kalk gelöscht und den Mörtel bereitet, anzustellen. Diese hatten ihn darauf geführt, daß man auch jetzt noch auf gleichem Wege

daſſelbe leiſten, ja ſelbſt den Mangel an Steinen und Bauholz durch die Zubereitung einer Maſſe erſetzen könne, die ſich, in beliebige Form gebracht, in ſehr kurzer Zeit und ohne an Umfang zu verlieren, völlig verſteinert und dann jeder Feuchtigkeit, ſo wie jedem Einfluſſe des Froſtes oder der Hitze unzugänglich ſey. Eine ſolche Maſſe könne, je nachdem man ſie geſtaltet, zu Röhren für Waſſerleitungen, Trögen, Baſſins, überhaupt zu Waſſerbehältniſſen aller Art, ja ſelbſt zu Basreliefs benutzt werden. Sie kann Flieſen und Quaderſteine auf Hausfluren erſetzen und, mit Farben getränkt, ein Art von Moſaik bilden. Die Erfahrung hat auch bereits die Ausführbarkeit und den Werth der Erfindung bewährt. So hatte Fleuret zu Clemery, dem Landſitze des Marſchalls Duroc, von ſolchen ſelbſtgemachten Steinen eine große Waſſerleitung angelegt, bei der eine einzige aus 1500 einzelnen Stücken zuſammengeſetzte Röhrenſtrecke über 5000 Pariſer Fuß lang war."

„Die Hauptſache beruht auf der großen Sorgfalt, die ſchnelle Verflüchtigung der Dünſte zu verhüten, vorzüglich aber die äußere Luft vom Kalke abzuhalten. Wenn eine beſtimmte Maſſe von Sand, gemiſcht mit zerſchlagenen Feldſteinen, kleinen Kieſeln und zerſtoßenen Scherben zubereitet war, ſo ward eine verhältnißmäßige Menge gebrannter Kalkſteine in einen von Weide geflochtenen Korb geſchüttet und dieſer in ein mit Waſſer gefülltes Gefäß geſtellt, bis ſich Blaſen zeigten. Man ließ ſodann das Waſſer ablaufen, ſchüttete die getränkten Steine auf die angefeuchtete Sandmaſſe und bedeckte ſie damit einige Zoll hoch, ſo daß nicht die kleinſte Oeffnung blieb und jeder Zutritt der äußern Luft abgeſchnitten wurde. Nach 12 — 16 Stunden ward ſodann mit eiſernen Schaufeln der zerfallene Kalk mit der Sandmaſſe durch einander gerührt und ſoviel Waſſer darauf gegoſſen, daß der nun gewonnene Mörtel, ſo lange er weich blieb, gleich dem Thone in jede Form verarbeitet werden konnte. Da bei dieſer Verfahrungsart die Kohlenſäure unſerer Atmoſphäre nicht, wie bei unſerer gewöhnlichen Lö-

Digitized by Google

schungsweise so oft der Fall ist, störend einwirken kann, so verbinden sich nun alle Theile der Masse unauflöslich, und selbst natürliche Bruch- oder Ziegelsteine, die durch einen solchen Mörtel verbunden sind, können oft nur durch große Gewalt von einander gesprengt werden."

§. 237. Der Traß ist eine erdige graue Lava. Nach Eytelwein kann man annehmen, daß die Hälfte von der Masse des Trasses dem Gewichte nach aus Kieselerde, der fünfte Theil aus Eisen, $\frac{1}{5}$ aus Thon und Kalkerde besteht. Nach Kartheuser's Zerlegung enthält er Kieselerde, Thonerde und etwas Eisen, nach Vogel und Anderson etwas Kalk. Nach Ziegler besteht der Traß aus $\frac{7}{10}$ verglaster Erde, aus $\frac{2}{10}$ gebranntem Thon mit etwas Alaun und aus $\frac{1}{10}$ Eisen. Er findet sich am Rhein in den Trier- und Kölnschen Regierungsbezirken, besonders aber bei Andernach. Er ist oft 15 bis 20′ mächtig, muldenförmig, zwischen Thonschiefergebirgen eingelagert. Wenn gleich der Traß, mit Kalk gemengt, einen sehr brauchbaren Wassermörtel liefert, da er die Eigenschaft hat, keine Feuchtigkeit durchzulassen, so soll doch die Pozzolane (eine zu Staub gefallene Lava) den Traß an Güte übertreffen; denn nach Wolfram ist der Eisengehalt des ersten nur $\frac{1}{4}$ so groß, als bei der letztern, und überdies oxydirt der Traß bei der Verwitterung mehr als Pozzolane. Der Traß wird von Andernach nach Holland gebracht, daselbst auf Mühlen zu Pulver gestampft, gesiebt, in Tonnen gepackt und zum Gebrauch versendet. Dem in Tonnen verpackten gelblichen Traß giebt man vor andern den Vorzug.

Im Sulzbachischen, bei Königslutter im Hannöverschen, soll man auch Traßsteine gefunden haben. In Sachsen, bei Schleitz, Langensalze und Leipzig sollen auch Cemente von der Art entdeckt worden seyn. Zu Regersdorf bei Herrnhuth und unweit Görlitz sind auch Traßsteine, die den andernachischen ähnlich seyn sollen, entdeckt worden.

Eytelwein rechnet beim starken Cement auf 1 Tonne Kalk, die $6\frac{1}{4}$ c′ hält, 11 bis 12 Centner Traß, woraus man

Digitized by Google

denn 43$^{c'}$ Mörtel erhält. Ein Centner Traß hält nach seiner Prüfung, wenn er ganz trocken und nur durch Schütteln und Anstoßen zusammengedrückt ist, $1\frac{1}{4}^{c'}$

Nach den von John gemachten Erfahrungen ist 1 Volumen oder Maß dicken Kalkbreies, und 2 Volumen Pozzolane, Traß oder Ziegelmehl das vortheilhafteste Verhältniß.

§. 238. Die Bereitung des Traßmörtels geschieht auf folgende Art: Man gießt nach und nach Wasser auf den ungelöschten Kalk, bis er in Staub zu zerfallen anfängt, wo dann durch Zugießung von noch mehr Wasser ein Brei gebildet wird. Hierauf wird er mit dem Traß vermischt und dann mit der Kalkschaufel auf einer reinen hölzernen Unterlage untereinander gearbeitet. Sind die Theile auf diese Art möglichst nahe und gleichförmig mit einander in Berührung gebracht, so wird die Masse mit Schlageisen oder eisernen Schaufeln ununterbrochen so lange geschlagen, bis man in der Masse kein einzelnes Körnchen mehr findet und der Cement so weich wie Butter ist. Damit, des leichtern Bearbeitens wegen, die Arbeiter kein Wasser zugießen, muß besonders Aufsicht stattfinden.

Der fertige Cement muß ebenso, wie während seiner Bearbeitung, vor der Sonne geschützt und noch am Tage seiner Fertigung verarbeitet werden; sonst muß man ihn in einem bedeckten Kasten aufbewahren und am folgenden Tage mit einer Beimischung von Kalk und Traß wieder schlagen. Sollen damit Steinfugen vergossen werden, so muß man den Traß vorher sieben. Dies ist aber nicht bei Vermauerungen nöthig. Jede damit zu vermauernde oder auszugießende Fläche und Fuge muß so stark angefeuchtet werden, daß sie kein Wasser mehr aus dem Cemente anziehen kann. Man kann auch zur Ersparung der Kosten, wegen des Traßes, nach Eytelwein, auf jeden Kubikfuß gelöschten Kalks einen Kubikfuß Traß und einen Kubikfuß gestoßener Ziegel nehmen. Der Uebersetzer von Vicat's Schrift sagt, daß 100 Kalk, 150 Sand, 50 Traß, ja selbst

Digitized by Google

100 Kalk, 75 Sand, 25 Traß einen vorzüglichen Mörtel geben.

§. 239. Außer Traß werden auch Ziegelmehl, Puzzolane, Steinkohlenasche, gebrannter Schiefer u. s. w. gewöhnlich als Cement gebraucht. Alle diese letztern Substanzen sind entweder vulcanischen Ursprungs oder calcinirt. Unter den vulcanischen Producten, die anstatt des Sandes mit dem Kalke gemischt werden, rühmt Vitruv, und mit und nach ihm Strabo und Plinius die Erde von Puteoli, jetzt Puzzolane genannt, hauptsächlich deswegen, weil sie, mit Kalk und Bruchstein vermischt, unter dem Wasser zu Stein erhärtet und gegen die anströmenden Wellen des Meeres aushält.

§. 240. Die Puzzolanerde findet sich bei Rom, in der Gegend von Neapel und im ganzen Kirchenstaate. Ihr bestes Kennzeichen ist, daß eine gute empfindliche Magnetnadel davon angezogen wird. Die rothe wird für die beste gehalten, hernach die blaue und schwärzliche, zuletzt kommt die weiße und gelbliche. Mit Kalk vermischt giebt sie einen Kitt, der unter Wasser sehr hart wird, an freier Luft aber nach und nach verwittert. Die Engländer verkaufen seit einigen Jahren einen Cement — Roman Cement —, der zu Wasserwerken ganz vortrefflich und völlig zubereitet ist, also, daß er, im Wasser zähe gemacht, ohne Weiteres kann gebraucht werden, und innerhalb 24 Stunden unter Wasser erhärtet. Er ist aber auch ziemlich theuer. Die Tonne von circa 5¾ Hamb. Kubikfuß kostet in Hamburg 24 Mark Courant und giebt nur 3¾ Kubikfuß Mörtel oder mit ¼ Zusatz von Sand 5 Kubikfuß. Der Zusatz von Sand gewährt nicht nur die Quantität, sondern auch allmälig die Festigkeit zur Härte des Steins.

Nach Eytelwein sollen vier Theile Puzzolane, drei Theile gut gebrannter Kalk, zwei Theile Sand und eben so viele kleine Steinstückchen einen guten Cement geben.

Ueber die Zubereitung und den Gebrauch dieses Cements kann man Vitruv's 2 Bd. 5tes B. Gersdorf's Schrift von der Puzzolane und deren nützlichem Gebrauch,

Digitized by Google

Smeaton's Werk über Brückenbau, Woltmann's Beiträge, 3. B. nachlesen. Dr. Schmieder giebt uns eine Abhandlung über die Substitute der Puzzolanerde, Halle 1810.

Von dem Bauholze.

§. 241. Das Bauholz muß nach Beschaffenheit der damit zu vollführenden Baue sich entweder in abwechselnder Trockne und Nässe, oder auch unter Wasser gut und unversehrt erhalten. Zu Bauten, die abwechselnder Nässe und Trockenheit ausgesetzt sind, eignet sich am besten Eichen-, Ulmen-, Lerchen-, auch noch Kiefernholz und überhaupt dasjenige, welches dichte Jahrringe und viel Harz bei sich hat. Zu den Bauten, die beständig unter Wasser bleiben, kann man außer den oben genannten Holzarten auch noch Erlen und Buchen mit Vortheil anwenden. Zu den Faschinenwerken an Strömen und Flüssen sind Weiden und Pappeln das beste Strauchholz. In Ermangelung derselben werden die Faschinen auch aus ziemlich geraden Baumzweigen von Buchen und Eichen, die am Stamme nicht viel über einen Zoll stark und so lang wie die Faschine selbst sind, ja selbst von Dornenstrauch gemacht. Frisch gehauene Reiser sind tauglicher als solche, welche schon ausgetrocknet sind. Zur Verbindung und Zusammenhaltung der Faschinen nimmt man gute Reiser von Weiden und Pappeln, die nicht brüchig sind und sich leicht drehen lassen; in Ermangelung derselben Birken- oder andere Reiser; zu den Würsten gehören schlanke lange Reiser, welche gewöhnlich von Weiden oder Pappeln und, wenn diese nicht zu haben sind, von Birken oder Ellern verfertigt werden.

Um eine richtige Auswahl der oben erwähnten Bauhölzer zu machen, sind Kenntnisse von dem Wachsthum, der innern Structur des Holzes erforderlich; ferner muß man auch die Zeit kennen, zu welcher das Bauholz zum Behuf des Wasserbaues am vortheilhaftesten gefällt und wie

Digitized by Google

es für den künftigen Gebrauch am besten aufbewahrt werden muß. Zu diesem Ende sollen daher zuvörderst die wichtigsten physikalischen Eigenschaften des Holzes überhaupt nach den Bemerkungen und Erfahrungen neuerer Naturkundigen, als vorzüglich Buffon, du Hamel, du Monceau, u. a. m. allgemein betrachtet und dargestellt werden.

§. 242. Das Wachsthum der Bäume besteht aus jährigen Trieben, die eine konische Anlage bilden, wovon die eine gleichsam immer in der andern steckt. In den Zwischenräumen (Poren), welche die aufsteigenden Holzfasern durch ihre Zusammenstellung und Verbindung bilden, circulirt der Nahrungssaft. Der Trieb dieses Saftes erweitert die Gefäße und macht sie stärker, unterdessen die Knospe, indem sie höher wächst, sie ausdehnt und verlängert. Auch setzt der circulirende Saft seine festen Theile ab, wodurch ihre Festigkeit vermehrt wird. Daher erhält der kleine Baum im andern Jahre in der Mitte schon holzige Fasern, welche die Holzmasse des ersten Jahres ausmachen, und diese sind mit einer zweiten Lage Holzfasern, welche den Wuchs des zweiten Jahres darstellen, versehen, und so geht es mit allen Holzlagen der folgenden Jahre. Da eine jede dieser Lagen das Product der Vegetation eines Jahres ist, so nennt man sie gewöhnlich Jahreslagen oder Jahrringe. Wenn ein Baum gefällt ist, so kann man auf dem Querschnitt des untersten Stammes die Anzahl dieser konischen Anlagen zählen, und aus dieser Anzahl von den um einander herum liegenden Holzlagen läßt sich das Alter des Baumes bestimmen. Die jährlichen konischen Anlagen sind mit einander durch ein zelliges Gewebe, welches nicht so stark als die Holzfasern ist, verbunden. — So wie der Stamm des Baumes sich bildet und wächst, so bilden sich und wachsen auch die Aeste.

§. 243. Die äußersten, am nächsten unter der Basthaut (vermittelst welcher alljährlich eine neue Holzlage gebildet wird) befindlichen Jahreslagen haben gewöhnlich ein

Digitized by Google

weit lockerers, weicheres, minder festes Holz — das oft von einer hellern Farbe ist — als die übrigen mehr nach dem Mittelpunkte des Stammes zu liegenden Jahreslagen. Man nennt jene gewöhnlich Splintlagen (Splint). In den Poren der Splintlagen setzt der circulirende Nahrungssaft viele feste Theile ab, dadurch wird der Splint nach und nach festes Holz. Je schneller dieser Splint sich in reiferes Holz verwandelt, desto gesunder sind die Bäume, daher auch gesunde in lebhaftem Wachsthume stehende Bäume dickere Splintlagen, als schmachtende kränkliche Bäume haben.

Zwischen diesen Splintlagen und der Markröhre befinden sich demnach die Lagen von jungem Holze, das freilich fester, dichter und dauerhafter ist als Splintholz, aber doch noch nicht ganz die Dichtigkeit, Festigkeit, Elasticität und völlige Ausbildung des reifen Holzes, wie die unmittelbar um die Markröhre herum liegenden Jahreslagen, hat. Diese letztern Jahreslagen zeichnen sich bei starken annoch gesunden Stämmen durch vorzügliche Härte und dunklere Färbung aus, weswegen man sie Kernholz nennt.

Indem nun die Splintlagen beim ferneren Wachsthum des Baumes immer eine mehrere Festigkeit annehmen, und sich neue Splintlagen darüber anlegen, so werden die Poren theils durch Erhärtung der Holzfasern, theils durch Compression immer enger, und zuletzt, wenn das junge Holz in reifes übergeht, so klein, daß der Saft nicht mehr gut durchdringen kann. Durch dieses Hinderniß fängt das Holz an sich aufzulösen und zu verderben, weil der in seiner gewöhnlichen Bewegung gestörte Saft verdirbt und fault. Aus dem reifen Holze entsteht dann, wenn der Baum anfängt vor Alter abständig zu werden, anbrüchiges Holz.

§. 244. Die Größe und Form der concentrischen Holzlagen sind nach Verschiedenheit der Holzarten sehr verschieden. Die Bäume, welche auf feuchtem, fruchtbarem Boden wachsen, erhalten bei den mehrsten Holzarten immer weit dickere Jahreslagen, als die auf magerm, trockenem Boden

Digitized by Google

stehenden. Die Bäume, welche in einem gemäßigten Klima wachsen, erhalten stärkere Holzlagen und ein schöneres Aussehen, als die in kalten Ländern stehenden. Gesunde, von Natur eine gute Constitution habende Bäume erreichen immer eine größere Dicke, als kränkelnde und schwächliche. Auch die Lage hat viele Wirkung auf das Holz. Die nördliche Lage giebt den Bäumen verhältnißmäßig schmalere Jahreslagen, als die mittägliche.

Nicht allein an verschiedenen Stämmen, sondern selbst oft an einem und demselben Stamme sind die Holzlagen von verschiedener Stärke; denn die breiteren oder schmäleren Jahreslagen bilden sich, je nachdem die Witterungsumstände in dem einen oder andern Jahre der Vegetation gemäß gewesen sind.

Auch findet man die Jahreslagen meist immer an einer Seite des Stammes und zwar gewöhnlich an der mittäglichen, wo die Einwirkung der Sonne und der dadurch beförderte Zufluß stärker und reichlicher ist, dicker als an der entgegengesetzten. Du Hamel will auch die größere Breite der Jahresringe an andern Stammseiten zuweilen bemerkt haben, und zwar dann, wenn der Baum an dieser Seite fruchtbares Erdreich und stärkere Wurzeln hatte, und von daher einen stärkern Zufluß von Nahrungssäften erhielt. — Diese Ungleichheit der Jahreslagen hat indessen auf die Brauchbarkeit des Holzes nur dann Einfluß, wenn sie auffallend groß und beträchtlich ist.

245. Die Kennzeichen, welche in forsttechnologischen Schriften zur Beurtheilung eines noch auf dem Stamme stehenden Baumes angegeben sind, ob derselbe nämlich seiner Structur und seinem Wuchse nach zum Bauholz taugt, sind folgende.

Wenn die Zweige eines Baumes, besonders die am Gipfel desselben, ein lebhaftes Ansehen und die Blätter eine frische, lebhaft grüne Farbe haben; wenn man an jungen, mittelmäßig starken Stämmen eine, der Holzart nach, feine glatte Rinde von ziemlich gleichförmiger Farbe, an starken

Digitized by Google

Bäumen aber in den Vertiefungen der schon gröberen aufgerissenen Rinde eine noch saftige junge Rinde wahrnimmt, so kann man schon mit einiger Zuverlässigkeit annehmen, daß der Baum im Ganzen gesund und seine Vegetation noch durch nichts unterbrochen ist. An der Buche deutet eine rothe Rinde auf trockenes, von der Sonne ausgedörrtes, an der Eiche eine weiße Rinde gemeiniglich auf weiches Holz. Hat die Kiefer auf der erhabenen Seite der Rinde grauliche Stellen, sind die Vertiefungen der Rinde röthlich mit Grau vermischt, so kann man dies als Merkmal eines gesunden Baumes ansehen, dagegen deutet eine weiße und in den Vertiefungen blaß grauliche Rinde einen kranken Baum an.

Auch kann man den Baum durch das Anbohren von außen nach dem Mittelpunkte zu vermittelst eines Holzbohrers untersuchen. Je nachdem der Bohrer mit ab- und zunehmender Leichtigkeit eindringt, je nachdem die Bohrspäne ein frisches oder verdorbenes Ansehen, einen frischen oder faulen Geruch haben, je nachdem wird auch der Stamm im Innern entweder gesund oder verdorben seyn.

§. 246. Wenn der Stamm bereits gefällt ist, so läßt sich der Zustand des Baumes aus der innern Beschaffenheit des Holzes auf folgende Art beurtheilen.

Wenn der Baum von der Rinde entblößt worden, so untersucht man, wie die Oberfläche an allen Seiten beschaffen ist. Zeigen sich nach der Richtung der Jahresringe fortgehende Risse (Kernschäle), welche zwischen diesen einen leeren concentrischen Raum bilden, der jene trennt, so darf man einen solchen Stamm nicht gebrauchen, wo starkes und dauerhaftes Holz erfordert wird. Dieser Fehler ist bei Hölzern, so lange sie noch in vollem Safte sind, kaum sichtbar, wird aber größer und merklicher, so wie sie nach und nach austrocknen. Zuweilen sieht man nichts, als einen Kreis von lebendigem, frischem Holze, der einen verdorrten Kern umgiebt, den man mit dem Schlägel heraustreiben kann, so daß nichts als eine Röhre von frischem Holze übrig bleibt. —

Digitized by Google

Bemerkt man Eisklüfte oder durch Frost entstandene Risse, welche nur in dem nächsten Jahre nach ihrer Entstehung sichtbar und späterhin durch strichförmige Erhabenheiten, die an der Oberfläche des Baumes der Länge nach herunter laufen, merklich sind, so ist zu befürchten, daß diese Risse sich von einander geben, wenn die Bäume austrocknen.

Hat der Baum Kernrisse, welche erst zum Vorschein kommen, wenn der Baum auszutrocknen anfängt, so hat es mit diesem Fehler allerdings mehr auf sich, als mit den Eisklüften, weil er eine Veränderung im Holze zu einem Anfange von Fäulniß im Kerne des Holzes verräth. Diesen Fehler trifft man gewöhnlich in alten und starken Bäumen.

Trifft man an dem Stamme einen doppelten Splint, oder einen Ring von weichem, splintartigem Holze im Innern des Baumes zwischen Holzlagen von gutem, reifem Holze außer dem gewöhnlichen Splinte, der sich unter der Rinde befindet, so ist der Stamm im Ganzen nicht zum Gebrauch als Bauholz tauglich, weil der doppelte Splint Holz von geringer Härte und Festigkeit enthält, und beim Austrocknen stärker zusammenzieht, als das um denselben befindliche reife Holz und dann bald in Fäulniß übergeht. Dieser Fehler entsteht durch frühe, lange, anhaltende Herbstfröste und sehr starke darauf erfolgende Winter, die das Reifwerden des sich in der Wachsthumperiode gebildeten Splints verhindern und in den Splintfasern eine solche Schwäche hervorbringen, daß selbst bei zunehmendem Alter keine Ausreifung des Splints mehr erfolgen kann.

Hat der Baum krebsartige Geschwüre, Auswüchse oder Knoten, so muß man untersuchen, ob diese mehr oder weniger tief in den Stamm eindringen und wie das unter denselben befindliche Holz beschaffen ist, welches man dadurch erfährt, wenn man an den verdächtigen Stellen einige Späne mit der Querare fortnimmt, oder sich nach

Digitized by Google

Umständen auch des Meißels und Bohrers zu dieser Untersuchung bedient.

Nach den, von mehreren Naturforschern und vorzüglich von du Hamel angestellten Beobachtungen ist an vollkommen gut beschaffenen Stämmen das zwischen dem Splint und dem Kern befindliche Holz so ziemlich von einerlei Farbe, nur daß das gegen den Kern zu etwas dunkler ausfällt. Wenn man daher an dem zwischen dem Splinte und Kerne befindlichen Holze eine sichtbare Verschiedenheit und Abwechselung der Farbe, z. B. weißliche oder rothe Adern wahrnimmt, so deutet dies gemeiniglich auf eine fehlerhafte Beschaffenheit des Holzes.

Nach Gilly's Handbuch der Landbaukunst (Th. 1. S. 93) ist bei den Jahrringen des Kiefernholzes Folgendes zu bemerken. Wenn die Jahrringe röthlich, die Zwischenräume aber blaßröthlich aussehen, so soll dieses eine gute Beschaffenheit des Holzes andeuten. Wenn sie dagegen graulich aussehen und die Zwischenräume gleichsam wie mit weißer Kreide punktirt sind, so soll dieses ein Kennzeichen seyn, daß das Holz faul und im Abstehen begriffen ist. Kann man aber bei der genauesten Untersuchung, sowohl der Oberfläche als der Hirnenden eines gefällten Stammes nichts entdecken, so bediene man sich folgenden bewährten Mittels, um zu erforschen, ob nicht in der Mitte des Stammes schadhaftiges, auch wohl anbrüchiges Holz (d. h. Holz, welches beim Leben desselben in geringerem oder stärkerem Grade in Verderbniß übergegangen ist) vorhanden seyn sollte.

Nachdem der Stamm auf eine Unterlage gebracht ist, so schlägt eine Person mit einem Hammer oder mit einer Axt gegen die eine Grundfläche oder Hirnseite des Stammes an, während ein Anderer das Ohr an die entgegengesetzte Grundfläche legt. Ist der Stamm seiner ganzen Länge nach durchaus gesund, so hört der, welcher an der entgegengesetzten Seite steht, den Schlag hell und deutlich, wenn auch der Stamm noch so lang wäre. Befinden sich aber in der Mitte des Stammes schadhafte anbrüchige Stel-

Digitized by Google

len, so sind die Schläge am andern Ende entweder gar nicht hörbar, oder sie klingen dumpf.

§. 247. Man wählt also zum Bauholze Stämme, welche kein anbrüchiges, faules Holz, keine starken Eisklüfte und Kernschäle oder Kernrisse haben, weil diese der Festigkeit des Holzes schaden. Ferner wählt man am liebsten Stämme mit etwas engen Jahrringen, wegen der vorzüglichen Festigkeit und Elasticität ihres Holzes. Daher zieht man beim Nadelholze die Stämme, welche auf trockenem, aber nicht ganz steilem Boden, und die in nördlicher Lage denjenigen vor, welche auf feuchtem und lettigem Boden und in südlicher Lage gewachsen sind.

§. 248. Jede Jahreszeit äußert einen besondern Einfluß auf die Beschaffenheit des in ihr gefällten Holzes. Nach Beschaffenheit der Umstände, insonderheit der Natur der verschiedenen Holzarten und des besondern technischen Gebrauches, den man bei einem Baume beabsichtigt, kann vielmehr bald der Winter, bald die Saftzeit mit größerem Vortheile gewählt werden.

Das zum Behuf des Wasserbaues dienliche Bauholz muß in der Saftzeit gefällt, sogleich verarbeitet und unter Wasser gebracht werden; denn das unter Wasser für den künftigen Gebrauch aufzubewahrende Bauholz erhält sich lange gut, wie man im Arsenal zu Venedig und zu Puzzuoli bei der Brücke des Caligula bemerkt, von der man Stücken Holz hervorzieht, die aussehen, als wenn sie erst kürzlich frisch geschlagen wären.

§. 249. In dem Vorhergehenden sind die wichtigsten, auf technische Benutzung Einfluß habenden Eigenschaften des Holzes überhaupt bemerkt worden. In wie verschiedenen Graden diese Eigenschaften den verschiedenen Holzarten eigen sind, dies soll nun in Rücksicht der zum Behuf des Wasserbaues tauglichen Holzarten ausführlicher gezeigt werden.

Die Trauben-, Stein- oder Wintereiche hat 3½ Zoll lange, über 2½ Zoll breite eiförmige Blätter, welche

nach dem meist über ½ Zoll langen Blattstiele zu keilförmig auslaufen. An dem glatten Rande sind sie mit vielen buchtigen Einschnitten oder rundlichen Lappen versehen, auf der Oberfläche dunkelgrün und glatt, unten blaßgrün und matt. Diese Wintereiche erreicht in 200 — 250 Jahren gewöhnlich eine Höhe von 100 — 120 Fuß, und am untern Ende ihres Schaftes eine Stärke von 4 — 5 Fuß im Durchmesser und darüber.

Die Farbe dieses Eichenholzes ist am Splinte weiß, am ältern reifen Holze fällt sie sehr ins Braune. Die Textur zeichnet sich durch große glänzende Spiegelfasern weite Poren, aber dichte Holzfasern aus. Es ist hart, fest, wenig elastisch, in der Jugend vorzüglich zähe und überhaupt biegsam. Es läßt sich mittelmäßig gut spalten, schön glatt und eben bearbeiten und schwindet und schwillt dabei nicht sehr. In Absicht der Dauer übertrifft es die mehrsten andern Holzarten; denn es kann selbst abwechselnde Nässe und Trokkene sehr gut vertragen, und unter Wasser wird es steinhart und erhält eine fast unzerstörbare Dauer.

Die Sommereiche, Stieleiche, hat kurz gestielte Blätter und an den Spitzen der Zweige sind die Blätter meistens ganz stiellos. Diese Blätter endigen sich gewöhnlich mit Lappen, und die rundlichen Einschnitte am platten Rande sind nicht so regelmäßig, wie bei den Wintereichen.

Diese Eiche erreicht bei noch geraderem Wuchse ungefähr dieselbe Höhe und Stärke, als die vorige Art, jedoch in etwas kürzerer Zeit. Die Farbe des jungen und des Splintholzes ist weiß, das reifere Holz ist bräunlich, ins Graue spielend.

Die Textur ist jener gleich; sie ist jedoch minder hart aber fester, elastischer und zäher, als die der Steineiche. Die Dauer des Holzes von der Stieleiche ist unter allen Umständen fast eben so groß, als die des Traubeneichenholzes.

§. 250. Die Buche hat eiförmig kurzgestielte Blätter, welche etwas zugespitzt, auf beiden Flächen glatt und glänzend, am Rande von Rippe zu Rippe unmerklich ge-

Digitized by Google

zähnt und in der Jugend haarig gefranst sind. Diese Blätter werden im Herbste braun und dürr.

Die Buche erlangt in 100 bis 120 Jahren eine Höhe von 60 bis 100 Fuß und einen Durchmesser von 2 bis 4 Fuß am Stammende. Die Farbe des Buchenholzes geht vom Weißen ins Röthliche bis ins hohe Zimmetfarbige, vorzüglich an ältern Stämmen, über. Die Textur ist schön. Die äußern Schichten einer jeden Jahreslage sind vorzüglich dicht und etwas dunkler von Farbe als der übrige Theil der Jahreslagen. Das Holz ist hart, fest, elastisch und in der Jugend sehr zähe. Es läßt sich ungemein gut spalten, dabei auch sehr schön und glatt bearbeiten und bekommt beim Austrocknen nicht leicht starke Risse. Im Trocknen, wenn es gehörig ausgetrocknet ist, hält es sich recht gut, wird aber leicht stockig und wurmstichig; unterm Wasser hingegen ist das Buchenholz sehr ausdauernd, allein bei abwechselnder Nässe und Trockne schwindet und schwillt es, wirft sich beträchtlich und wird bald zerstört.

§. 251. Die glatte Ulme hat kurz gestielte Blätter, welche im Umrisse elliptisch, vorn zugespitzt und am Rande doppelt gesägt sind; auf der einen Seite der Mittelrippe breiter und an der Basis mehr herab verlängert als an der andern, daher schief mit ungleichen Seiten am Stiele; auf der Oberfläche dunkelgrün und rauh, auf der untern etwas mattgrün und weniger rauh.

Die Ulme erwächst in 100 Jahren zu einer Höhe von 80—100 Fuß, und einer Stammstärke von 2—3 Fuß und darüber. Ihr Holz ist weißgelblich am Splint und am reiferen Holze braunflammig. Die Textur derselben ist dicht und hart und läßt sich spiegelglatt bearbeiten, wobei es denn gewöhnlich ein gewässertes Ansehen zeigt, und sich fast gar nicht wirft. Es ist hart, fest, sehr elastisch und zähe, wobei es aber auch zugleich sehr schwerspaltig ist. Sowohl im Trocknen, als in abwechselnder Nässe und Trockne ist es dauerhaft, unterm Wasser ist es wie Eichenholz, fast

Digitized by Google

unverweslich. Von Würmern wird es beinahe gar nicht angegriffen.

Die rauhe Ulme hat doppelt gesägte Blätter, sie sind weniger rauh, etwas kleiner und am Stiele weniger ungleich, als die der glatten Ulme, sonst ist sie dieser gleich. Nur hat sie in Absicht der Härte und Festigkeit Vorzüge vor der glatten Ulme.

§. 252. Die Erle hat 3 Zoll lange, 2½ Zoll breite Blätter, welche aus breiten bläulichen Knospen hervorkommen. Diese sind beim Ausbruch klebrig, sonst fast rund, an der Basis keilförmig, an der Spitze sehr stumpf, am Rande unregelmäßig gesägt, auf beiden Seiten glänzend grün und glatt. Der Blattstiel ist gewöhnlich 1 Zoll lang. In den Winkeln der Rippen findet man eine braune Wolle.

Die Erle wird in 50—60 Jahren 70 — 80 Fuß hoch und im Durchmesser 1½—2 Fuß stark. Die Farbe des Holzes ist am Splint gewöhnlich weiß, am reifen Holze geht sie ins Röthlich-weiße, Röthliche oder Rothbraune über. Es hat breite Jahresringe. Seine Härte und Festigkeit sind nur mittelmäßig und dessen Zähigkeit und Elasticität nicht beträchtlich. Im Trocknen und in freier Witterung dauert das Erlenholz nicht lange, sondern stockt und verdirbt sehr leicht, unterm Wasser ist es aber fast unverweslich.

§. 253. Die Kiefern haben 2—3 Zoll lange Nadeln, welche fast immer paarweise, sehr selten zu dreien in einer Scheide stehen. Sie sind sehr schmal, steif, zugespitzt, gerippt, äußerst fein gezähnt, und von schmuzig grüner Farbe, wodurch die Kieferwaldungen ein düsteres Ansehn erhalten. Sie sind immer grün, und fallen nur mit zunehmendem Wachsthum der Zweige in der Stärke, an den dreijährigen Trieben nach und nach ab.

Die Kiefer erreicht in 120 Jahren eine Höhe von 80 — 100 Fuß, und eine Dicke von 3 Fuß im Durchmesser, doch wird sie im höhern Alter oft noch weit höher und dikker. Das Kiefernholz ist am Splint und jungen Holze weiß, am reifen Holze mehr röthlich, und die Ränder der

Digitized by Google

Jahrringe zeichnen sich wie beim Fichtenholze, und noch merklicher, durch Harzgehalt und Farbe aus, daher auch diese Holzart nicht von gleichförmiger Dichtigkeit ist. Das Kiefernholz ist mittelmäßig hart, fest, elastisch, aber auch, wie das Tannenholz, wenig zähe. Beim Austrocknen bekömmt es leicht Risse und wirft sich. Im Trocknen und unterm Wasser ist es sehr dauerhaft, nicht so gut in abwechselnder Nässe und Trockne. Indessen hält sich doch das gesunde Kernholz starker Bäume auch unte diesen Umständen sehrlange gut.

§. 254. Der Lerchbaum hat ½—1 Zoll lange Nadeln, welche Büschelweise aus den mit Haarfasern bedeckten Knospen hervorbrechen. Sie sind sehr dünn, weich, hellgrün und ungezähnt. Sie sind nicht wie bei andern Nadelhölzern perennirend, denn sie werden im Herbste gelb und fallen vor Winter ab.

Der Lerchbaum wird in 50 — 60 Jahren 80 — 100 Fuß hoch und wohl drei Fuß und darüber dick. Die Farbe des reifen Holzes ist rothgelblich, auch rothbräunlich; der Splint ist weiß. Das Lerchenholz ist ferner grobfasrig, dicht, hart, fest und elastisch. Sowohl in Trocknen als in freier Witterung ist es außerordentlich dauerhaft und unter Wasser wird es wie Erlen- und Eichenholz, steinhart und unvergänglich. Ueberdies hat das Lerchenholz auch noch die gute Eigenschaft, daß es von Würmern nicht angegriffen wird.

Von den zum Faschinenbau brauchbaren Holzarten.

§. 255. Die zu Faschinenbauten brauchbaren Weiden- und Pappelarten sind folgende:

Die Silberweide, auch weiße Weide, gemeine Weide. Sie hat schmal lanzettförmige, zugespitzte, sägezähnige Blätter, welche auf beiden Seiten mit einer dünnen, seidenartigen Wolle überzogen sind. Sie wird ein ansehnlicher Baum, und ist daher vorzüglich zu hochstämmigen Pflanzungen geeignet.

Goldweide, gelbe Bandweide, Dotterweide. Die Blätter sind eiförmig, lanzettähnlich und glatt, sägezäh-

Digitized by Google

nig, und die Blattstiele haben grobe stiellose Drüsen. Sie wächst zu einem mittelmäßigen Baume heran, und kann daher auch hochstämmig gepflanzt werden, obwohl sie zu Buschholz vorzuziehen ist. Zu diesem ist sie sehr zu empfehlen, denn sie wächst schnell, giebt vortreffliche Faschinen, und ist auch zu andern Zwecken, z. B. zu Bändern, Körben u. s. w. gesucht.

Buschweide, auch Mandel- oder Korbweide. Mit auf beiden Seiten glatten, lanzettförmigen, sägezähnigen Blättern. Die männlichen Blüthen haben drei Staubfäden. Sie wächst nur als Buschholz, und ist daher nur zu niedrigen Pflanzungen anwendbar, und für diese um so empfehlenswerther, da sie sehr brauchbar für Korbflechterarbeiten ist.

Bruchweide mit sägezähnigen, glatten, lanzettförmigen Blättern. Die untern sind kleiner, eiförmig und zurückgebogen. Da sie nicht biegsam ist, und leicht bricht, so wird sie mit Recht wenig geschätzt, und da sie für den Gebrauch als Faschinen leicht durch andere Weiden ersetzt werden kann, so ist sie nicht sehr zu empfehlen.

Einmännige Weide, Rosenweide, Bachweide. Die Blätter sind schmal, lanzettförmig, auf beiden Seiten glatt, in jeder Blüthe nur ein Staubfaden. Die Rinde der jungen Zweige ist roth. Sie wächst niedrig und sehr buschig und ist daher für Uferdeckwerke beinahe allen andern Weidenarten vorzuziehen.

Geisweide. Ihre Blätter sind lanzettähnlich eiförmig, oben sammtartig, unten fast filzig, am Rande wellenförmig und gezähnt. Ihre Kätzchen unterscheiden sich von denen fast aller übrigen Weiden durch ihre eiförmige Gestalt. Da sie keinen sehr feuchten Bodenverlangt, und sehr gut auf gewöhnlichem Boden fern von Flüssen und Bächen fortkommt, so verdient sie alle Aufmerksamkeit für trocknere Stellen z. B. auf hohen Faschinenbauten, wo andere Weiden aus Mangel hinlänglicher Feuchtigkeit nicht mehr gut fortkommen.

Digitized by Google

Spitzblättrige Werftweide. Die Blätter sind eiförmig, oben nackt und unten filzig, am äußern Ende zugerundet mit einer kurzen Spitze, am Rande ganz. Auch sie wächst wie die vorhergehende auf minder feuchtem Boden, und verdient in dieser Hinsicht die nämliche Aufmerksamkeit, wie die vorhergehende.

Die Schwarzpappel hat dreieckige oder deltaförmige Blätter, welche in eine kurze Spitze auslaufen, und sind am Rande rundlich gezähnt. Sie hängen an 1½ bis 2 Zoll langen gelblichen oder auch röthlichen Stielen. — Die Schwarzpappel erlangt in 40—50 Jahren eine Höhe von 60 — 80 Fuß und eine Stärke von 2 bis 3½ Fuß. Die Farbe des Holzes ist am Splinte weiß, am ältern Holze weißgrau, und an alten Stämmen bräunlich. Das Holz ist weich und mittelmäßig fest in der Saftzeit. Im Trocknen ist es ziemlich dauerhaft, in freier Witterung nur von mittelmäßiger Dauer. Beim Bearbeiten fasert es leicht, wirft sich aber wenig und reißt nicht stark beim Austrocknen. Diese Pappel ist zu hochstämmigen Anpflanzungen vorzüglich zu empfehlen.

Die Silberpappel oder weiße Pappel hat 3 — 5 Zoll lange, 2½ bis bis 4 Zoll breite, länglich runde, meistens dreilappige, am Rande unregelmäßig weitläufig gezähnte, oben dunkelgrüne und glänzende, unten mit einer schönen silberfarbigen Wolle bekleidete Blätter, die an 1 bis 1½ Zoll langen, runden, weißwolligen Stielen stehen.

Die Silberpappel erlangt in 30 Jahren eine Höhe von 80 Fuß und darüber, und eine Stärke von 2 bis 3½ Fuß. Die Farbe des Holzes ist am Splinte weiß, am ältern Holze weiß gelblich. Uebrigens ist das Holz wie bei der Schwarzpappel. — Die Silberpappel kann sowohl hochstämmig, als zu Buschholz angepflanzt werden, und die große Menge Samen, welche sie ausstreut, begünstigt den jungen freiwilligen Anflug.

Die Pyramidenpappel oder die lombardische Pappel hat an langen zusammengedrückten Stielen ste-

Digitized by Google

hende deltaförmige Blätter. Diese sind an der Basis bisweilen herzförmig, kurz zugespitzt, mehr breit als lang, am Rande rund gezähnt, auf beiden Seiten glatt, in der Jugend klebrig und wohlriechend.

Diese Pappel erlangt eine Höhe von 80 Fuß und darüber und eine Stärke von 2 bis 4 Fuß in 30 bis 40 Jahren. Das Holz ist am Splinte weiß, am ältern Holze weißgrünlich. Uebrigens ist das Holz wie bei der Schwarzpappel. Die Pyramidenpappel ist als Alleebaum bekannt. Die Leichtigkeit, sie durch Stecklinge fortzupflanzen und ihr schneller Wuchs empfiehlt sie sehr zur hochstämmigen Anpflanzung.

Von den Pfählen.

§. 256. Da zu allen und jeden Wasserbauten Pfähle ein vorzüglich nothwendiges Erforderniß sind, so soll ihre Zurichtung und das dazu taugliche Holz hier besonders beschrieben werden.

Man unterscheidet im Allgemeinen die Spitzpfähle, und die Spund- oder Nuthpfähle.

Spitzpfähle nennt man diejenigen, welche unten zugespitzt und einzeln und in gewissen Entfernungen eingerammt werden. Sie dienen entweder zum Tragen einer senkrecht wirkenden Last, wie die Rostpfähle, oder gegen Seitenschub, wie die Vollwerkspfähle, auch wohl gegen beides zugleich. Füllpfähle dienen nur zur Ausfüllung oder zum Verdichten eines zu lockeren Bodens. Rüstpfähle dienen nur während des Baues zu Gerüsten.

Spund- oder Nuthpfähle sind diejenigen, welche nur von zwei Seiten gespitzt und mit Spunden (Federn) in Nuthen dergestalt in einander gefügt sind, daß eine Reihe solcher dicht an einander stehenden Pfähle eine wasserdichte Wand bildet, die man Spundwand, auch Kernwand nennt, welche dazu dient, das unterspülende Grundwasser abzuhalten.

Digitized by Google

Man unterscheidet bei den Spitzpfählen auch noch insbesondere

a) Grundpfähle, welche ganz oder doch größtentheils in die Erde eingeschlagen werden,

b) Langpfähle, welche zum Theil über der Erde oder dem Wasser stehen.

Nach ihrer Bestimmung u. s. w. erhalten sie noch besondere Benennungen, als: Rost-, Joch-, Brücken-, Bollwerks-, Wandpfähle u. s. w.

§. 257. Sowohl die Spitzpfähle, als auch vorzüglich die Langpfähle, sollten der bessern Dauer wegen billig von Eichenholz zugerichtet werden, es kann indessen im Nothfall zu den Langpfählen Kiefernholz, zu den Grundpfählen aber unbedenklich völlig reifes und ausgewachsenes Kiefernholz, ingleichen Buchen und Erlen, genommen werden.

Die Spitzpfähle dürfen nur in besondern Fällen auf allen vier, oder auch nur auf zwei Seiten beschlagen werden, in andern Fällen muß man sie rund und unbehauen einrammen, weil die Fibern des Holzes durch das Beschlagen getrennt und die Pfähle geschwächt werden; nur müssen bei runden Spitzpfählen die ästigen und hervorstehenden Theile abgehauen und die Rinde abgeschält werden. Bei einigen, wie z. B. den Bollwerksbauten, wo die eine Seite der Pfähle mit Bohlen bekleidet und mithin gerade behauen werden muß, ist es am besten, wenn das Beschlagen oder Behauen erst nach dem Einrammen der Pfähle vorgenommen wird, indem sie selten in eine solche gerade Richtung eingerammt werden, daß, wenn sie vorher beschlagen sind, die Seiten der Pfähle durchweg genau passen, oder, wie man es nennt, in der Flucht stehen.

Die Spitzpfähle erhalten beim Zurichten entweder eine drei- oder eine vierseitige Spitze, deren Länge in beiden Fällen die dreifache Dicke des Pfahles beträgt. Die dreiseitige Spitze verdient den Vorzug, weil die so zugespitzten Pfähle

Digitized by Google

leichter in die Erde eingerammt werden können, sich auch dabei nicht leicht drehen und wenden, wie dies bei vierseitigen, auch runden Spitzen der Fall ist. Die Spitzen dürfen nicht ganz auslaufen, damit sie nicht beim Einrammen splittern und fasern, sondern behalten unten eine etwas abgestumpfte Fläche.

Die Pfähle werden zwar gewöhnlich an dem obern oder Wipfelende der Stämme zugespitzt; in vielen, ja in den meisten Fällen, ist es aber besser, die Spitze an dem untern oder Stammende und die Pfähle so einzurammen, wie der Stamm im Walde stand; denn solche eingerammte Pfähle können nicht so leicht von dem Grundwasser oder auch von dem sich daran setzenden Eise ausgehoben werden, so wie dies bei Pfählen, auf denen keine Last ruhet und die oben frei bleiben, wie bei den Bollwerken, der Fall zu seyn pflegt. Auch lehrt die Erfahrung, daß die Pfähle, wenn das dickere Ende nach unten gekehrt ist, anfänglich wegen Pressung, Reibung und Anziehung längs der Wand zwar schwerer, nachher aber leichter eingerammt werden können, als in der gewöhnlichen Art, so daß beinahe ein Viertel der Zeit weniger dazu erforderlich ist. Nur muß bei den mit dem starken Ende einzurammenden Pfählen das Wipfelende nicht zu schwach seyn, weil sonst der Pfahl beim Einrammen leicht spaltet und fasert oder, wie man sagt, eine Perücke bekömmt. Dadurch stumpft sich die Wirkung des Schlages etwas ab, um aber zu verhüten, daß der Pfahl am Kopfe ganz aufsplittere, muß man einen eisernen Ring umlegen, der wieder abgenommen wird. Perronet bemerkt, daß, wenn die Spitze am Wipfelende des Pfahles angehauen wird, alsdann mehrere der zuerst eingeschlagenen Pfähle beim weiteren Rammen ausgehoben werden, weil die Pressung der Erde auf die nach oben sich erweiternden Wände senkrecht aufwärts wirken kann.

Ein Langpfahl trägt mehr, wenn er mit dem dicken Ende eingerammt ist, sobald er dabei nicht bis zur Hälfte eingetrieben ist, weil der Bruch an der Erdoberfläche ge-

Digitized by Google

schähe. Wird er so aber über die Hälfte seiner Länge eingetrieben, so trägt er deshalb weniger, als wenn das schwächere Ende nach unten gekehrt wäre.

Gewöhnlich werden die Pfähle senkrecht, zuweilen wie bei den Bollwerken in einer schrägen Richtung eingerammt. Ist der Boden für das Holz zu hart, so werden die Pfähle mit einem eisernen 4, 6, 8 — 10 ℔ schweren Schuh versehen. Wiebeking hat bei der Brücke in München am rechtseitigen Pfeiler mit Pfählen, die mit Schuhen von 30 — 40 ℔ Schwere versehen waren, durch 12 Centner schwere Rammklötze das Gemäuer des eingestürzten alten Pfeilers durchstoßen, so, daß sie nachher in den festen Grund eindrangen.

Die Länge der Spitzpfähle richtet sich theils nach ihrer verschiedenen Bestimmung, theils aber auch nach dem vorgefundenen Grunde. Im letzteren Falle thut man am besten, selbst bei der möglichen Wahrscheinlichkeit, auf eine etwas größere Länge zu rechnen. Ist der Grund so tief, daß die längsten Pfähle nicht hinreichen, um in den unter der weichen schwammigen Erdart befindlichen festen Grund hinlänglich eingerammt zu werden, so müssen Pfähle auf einander gesetzt, oder, wie man sagt, aufgepfropft werden. Dieses Aufpfropfen muß man zu vermeiden suchen; denn Woltmann (hydraul. Achitekt. 4. Bd.) bemerkt, daß sehr lange und noch dazu aufgepfropfte Pfähle, wenn sie auch auf ganz festem Grunde aufstehen, in weichen umgebenden Boden doch ausbiegen und brechen können.

Wiebeking bemerkt, daß man dann, wenn man Pfahl an Pfahl schlägt, diese nicht von gleicher Länge in festen Thonboden einschlagen soll, um keine Kluft oder gänzliche Ablösung im Grunde zu veranlassen. In der Regel soll aber die geringste Entfernung der Pfahldicke gleich seyn.

Beim Grundbaue werden die Pfähle gewöhnlich in Entfernungen von 4 — 4½ Fuß eingerammt. Woltmann bemerkt, daß Pfähle in nassem Treibsande leicht Veranlas-

Digitized by Google

sung zu Quellen geben können, während das Wasser darin außerdem überall nur allmälig und gleichmäßig zuquillt.

Beim linkseitigen Ufer der freisinger Brücke hat Wiebeking 3 — 5′ unter dem niedrigsten Wasserstande eine Faschinenlage bereitet, und darin die Pfähle bis zum festen Stande im Boden eingerammt.

§. 258. Die Spundpfähle müssen von ganz ausgewachsenem, völlig reifem Holze zugerichtet werden. Sind keine langen Pfähle nöthig, so thut man am besten sie von Stammenden zuzurichten. Man kann dann von einem starken Klotze an beiden Seiten noch einige Dielen trennen lassen, das Kernstück aber zu den Pfählen anwenden. Da die Spundpfähle sich beständig im Wasser oder auch in einem stets feuchten Grunde befinden, so nimmt man am liebsten Eichen- oder Kiefernholz, weil diese Holzarten unterm Wasser beinahe unvergänglich sind.

Die Spundpfähle dürfen aber nicht von einer sonderlichen Stärke seyn, sondern es ist oft eine Dicke von 4 — 5 Zoll hinlänglich, jedoch unter der Voraussetzung, daß der Grund nicht zu fest ist, weil ein sehr fester Grund das Einrammen schwacher Spundpfähle verhindert, und diese sich unter den Rammschlägen biegen. Sie müssen daher für einen festen Grund 6 — 7″ stark, ja oft noch stärker, zugerichtet werden. Man muß dafür sorgen, möglichst breite Spundpfähle zu erhalten, weil diese weniger Zurichtungskosten verursachen und weniger Fugen in der Wand bilden.

Ueber das Beschlagen der Spundpfähle scheinen die Meinungen getheilt zu seyn. Einige finden es hinlänglich, wenn sie nur an zwei Seiten beschlagen werden; andere behaupten dagegen, daß sie auf allen vier Seiten beschlagen werden müssen, weil sonst die Spünde und Nuthen in den Splint fallen und dann dem Verfaulen ausgesetzt sind, welches die erstern dagegen abläugnen, weil ihrer Behauptung nach der Splint im Wasser eben so wenig, als das Holz verfault. Da das letztere nicht so geradehin behauptet

Digitized by Google

werden kann, so möchte man beim Zurichten der Spundpfähle anrathen, an der Ruthseite allen Splint bis auf die Ecken hin, und an der Spundseite soviel wegzuarbeiten, daß der Spund keinen Splint mehr behält. — Da man aber hiernach bei langen Pfählen genöthigt ist, den größten Theil des Holzes wegzuhauen, um nur am Wipfel keinen Splint zu behalten, so sind daher auch die langen Pfähle ein sehr holzverwüstendes Bauholzstück.

Die Spundpfähle müssen weder aus ausgetrocknetem Holze zugerichtet werden, noch, wenn sie von frischem Holze gemacht sind, zu lange liegen bleiben und austrocknen, weil, wenn sie nachher ins Wasser oder in einen feuchten Grund zu stehen kommen, sie bald wieder quellen und dann sich auseinander drängen. Es ist daher am besten, die Spundpfähle sogleich nach der Zurichtung einzurammen, welches vorzüglich bei aus Buchenholz zugerichteten Spundpfählen nothwendig ist, weil diese, der Luft und Sonne nur einige Zeit ausgesetzt, der Breite nach krumm werden, oder sich werfen.

Die Spundpfähle werden an beiden breiten Seiten nach der Mitte ihrer Dicke zugespitzt, oder vielmehr zugeschärft, so daß diese Schärfe in einer Linie ununterbrochen fortläuft. Dieses Zuschärfen darf nicht an einzelnen Pfählen geschehen, sondern es muß eine ganze Reihe derselben, Fig. 200, oder eine Spundwand auf die Zulage gelegt, ein Schnurschlag, a b, unten am Fuße auf die Mitte gemacht, und dann jeder Pfahl nach dieser Linie hin zugeschärft werden, weil von dem genauen Zusammentreffen der Linie beim Einsetzen der Spundpfähle zum Behuf der Einrammung derselben vieles ankommt, indem, wenn die Schärfen nicht ganz genau zusammentreffen, sich leicht kleine Steine, Späne und dergleichen dazwischen klemmen und die Spundpfähle auseinander treiben können.

Die Ruthen und Spunde (Federn) der Spundpfähle werden verschiedentlich gestaltet, bald dreieckig, bald schwalbenschwanzförmig, bald viereckig rechtwinkelig. Die letztere

Digitized by Google

ist die zweckmäßigste Art, weil die so gestalteten Nuthen und Spunde am leichtesten auszuarbeiten und einzupassen, auch dabei am dauerhaftesten sind. Sind die Spundpfähle nur 4 — 5″ dick, so erhalten solche eine Grad- oder Keilspundung, Fig 201. Die Dicke des Pfahles ab wird in vier gleiche Theile getheilt, und davon die beiden mittleren Theile cd zur Stärke der Gradfeder, die beiden Endtheile ac, db aber zur Stärke der Backe genommen. Mit der Weite cd wird das gleichseitige Dreieck cde beschrieben. Zuweilen macht man nach Fig. 202 an einem jeden Pfahl an der einen Seite einen Spund, an der andern eine Nuthe, zuweilen bekommt nach Fig. 203 a und b abwechselnd ein Pfahl zwei Spunde oder Federn und der andere zwei Nuthen. Die erste Einrichtung nach Fig. 202 ist die zweckmäßigste. Der Spund muß aber auch beim Einrammen immer an die schon eingerammten Pfähle schließen, weil sich diese sonst beim Einrammen abdrängen.

In Holland und Frankreich sind anstatt der Spundpfähle die Spundplanken oder gespundeten Bohlen üblich. Die Spundwände werden nämlich dort aus vierzölligen Planken angefertigt, welche sehr genau zusammen gestrichen und an beiden Seiten mit einer 1½ Zoll breiten und 1½ Zoll tiefen Nuthe versehen werden, in welche wechselsweise eine Feder eingepaßt ist. Spundwände dieser Art verdienen in soweit den Vorzug, weil sie vorzüglich dicht sind und ungleich weniger Holz erfordern, als die bei uns üblichen; sie sind aber nur in weichem, lockerem Boden ohne Steine anwendbar, auch müssen sie allemal zwischen zwei Schwellen geschlagen werden, die beim Aufsetzen zur Lehre dienen, weil sie sonst zu Anfange des Einrammens nicht steif genug stehen.

Bei sehr festem oder hartem Grunde müssen auch die Spundpfähle mit Schuhen von Eisenblech, 8 — 10 ℔ schwer, versehen werden. Auch werden die Spundpfähle wie die Spitzpfähle am Obertheile an den Kanten verbrochen, d. h. an den Kanten abgestoßen, um das Breitschlagen des

Digitized by Google

Kopfes und dadurch entstehendes Klemmen zu verhüten. Auch schwächt diese sogenannte Perücke einigermaßen die Rammschläge.

Vom Eisen.

§. 259. Ein jedes Erz, welches Eisen in sich enthält, wird Eisenerz genannt. In engerer Bedeutung versteht man darunter nur das geringhaltige Eisenerz, welches die Schmelzkosten nicht überträgt, zum Unterschiede von dem Eisenstein, mit welchem Namen man das reichhaltige Erz zu belegen pflegt.

Der gemeine Eisenstein ist ein schwerer, röthlicher, gelblicher, bläulicher, oder schwarzgrauer und etwas rostiger Stein. Die reinen Eisensteine werden auch Stahlsteine oder Stahlerz genannt, weil sie entweder ein zum Stahl tüchtiges Eisen liefern, oder eine Farbe und einen Glanz wie Stahl haben.

Die Eisenerze haben entweder eine Säure und zuweilen einen wirklichen Schwefel bei sich, oder sind mit andern Metallen oder Halbmetallen verunreinigt.

Hat der Eisenstein eine Beimischung von Spießglas, Arsenik und Wismuth, so entsteht daraus ein kaltbrüchiges Eisen. Hat hingegen der Eisenstein Schwefel bei sich oder Kupferschüsse, so schmilzt er zwar leicht, macht aber allemal schlechtes Eisen, und die vielen groben Schwefeltheile verursachen, daß sich das Eisen im Glühen gar nicht zusammenschmelzen lassen will und rothbrüchig wird. Enthält der Stein gar keinen Schwefel, so hält das Eisen zwar im Feuer gut zusammen, sobald es aber kalt geworden, wird es spröde. Dieses Eisen heißt kaltbrüchig.

Rothbrüchiges Eisen ist zähe und weich, wenn es im Feuer nur weiß glüht und wenn es kalt gearbeitet wird, dagegen ist es sehr zum Rosten geneigt, und wird blau

Digitized by Google

beim Feilen. Kaltbrüchiges Eisen läßt sich warm gut schmieden, bricht aber, wenn es kalt wird.

Man sieht hieraus, daß bei Entdeckung neuer Eisensteine es höchst wichtig ist, ihre Eigenschaften und Beimischungen zu untersuchen, um den Gehalt eines Steines zu erfahren.

Man schmelzt das Eisenerz in Hohöfen, und gewöhnlich werden einige Zuschläge von Kalkstein hinzugesetzt. Das auf diese Art erhaltene Eisen heißt Roheisen, Gußeisen.

§. 260. Die Bestandtheile des Roheisens sind außer den Eisentheilen noch Sauer- und Kohlenstoff und noch einige, mehr oder weniger fremdartige Substanzen; hierdurch wird es in verschiedenen Graden spröde und brüchig; daher muß es auf einer andern Anstalt, die man Eisenhammer oder Stahlhammer nennt, durch Schmelzen, Hämmern und Schmieden geschmeidiger gemacht werden. Das nochmalige Schmelzen und Reinigen des Eisens nennt man Frischen; das gereinigte Eisen heißt Frischeisen. Das Eisen, welches bei dem Frischfeuer gemacht wird, besteht in allerlei Stabeisen, von welchem Osemundeisen die feinste Sorte ist. Auch werden auf den Blechhämmern Eisenbleche geschlagen. Das Osemundeisen kommt hauptsächlich zu dem Eisendrathe, der in verschiedener Stärke auf den Drahtmühlen verfertigt wird.

§. 261. Reines Eisen (Frischeisen) fällt aus dem Stahlgrauen ins Silberweiße; andere Sorten hingegen fallen mehr ins Bläuliche oder Graue. An Härte übertrifft das Eisen alle Metalle, und besitzt die stärkste Elasticität. Reines Eisen besitzt eine unglaubliche Geschmeidigkeit und läßt sich in überaus feine Fäden ziehen. Wenn es bis zum Weißglühen erhitzt ist, läßt es sich bequem hämmern und zusammenschweißen, und es können zwei getrennte Stücke so fest verbunden werden, als ob sie durch Schmel-

Digitized by Google

zung vereinigt wären, wobei sich ein Eisenkalk (Hammerschlag) absondert. Da Luft und Feuchtigkeit das Eisen angreifen, so überzieht man es mit andern Metallen, mit Firnissen u. s. w. Die beste Farbe zum Anstreichen des Eisens, das im Freien steht, ist Kienruß mit Leinöl vermischt. Um das Eisenwerk, das in die Mauer kommt, gegen das Rosten zu schützen, so ist es gut, dasselbe, wenn es noch warm ist, dicht und gleich mit gutem Pech zu bestreichen, und es überdies, bei Einlegung in das Mauerwerk, so wie bei der Annagelung auf das Holz mit zerlassenem Theer und Pech zu überziehen, auch mit eben dieser Masse die Bolzen, die Nägel und deren Löcher zu bestreichen.

Alle Säuren wirken auf das Eisen, indem sie es auflösen.

§. 262. Alles Gußeisen ist nicht in seiner Güte gleich. Je mehr Sauerstoff und je weniger Kohlenstoff es enthält, desto schlechter ist das Eisen. Ist dagegen das Eisen mit Kohlenstoff so übersättigt, daß nur wenig Sauerstoff vorhanden ist, welches vorzüglich durch eine bei dem Schmelzen angewendete große Menge von Kohlen erzeugt wird, so hat es eine vorzügliche Güte.

Wie aber auch das Eisen auf den Eisenhütten geschmolzen wird, so ist doch alles Gußeisen spröde. Diese Sprödigkeit wird durch schnelles Abkühlen befördert, und durch langsames Abkühlen vermindert. Im erstern Falle kann man die Sprödigkeit vertreiben, wenn man das Eisen bei einem lebhaften Feuer stark durchglühet.

Mit vieler Vorsicht muß demnach das Eisen zu Brücken gegossen werden. Es muß in trockenem Sande geschehen. Erfordert aber die Gestalt der Eisenstücke eine besondere Genauigkeit, oder bedarf es vieler Stücke von einerlei Figur, so ist es am besten, eiserne Formflaschen dazu in trockenem Sande gießen zu lassen, deren Kern aus Thon besteht.

Man sieht hieraus, daß die Auswahl und die Behand-

Digitized by Google

lung des Eisens zu einer Brücke mit großer Sorgfalt geschehen muß.

Wenn auf dem Bruche des Gußeisens sich regelmäßig schwarzgraue metallische Körner zeigen, und das Eisen eine matte grüne Farbe, die sich der blauen nähert, hat, so sind diese ein Kennzeichen von der Güte des Eisens. Zeigt sich dagegen auf dem Bruche eine weiße kornlose Fläche und sieht es krystallisirt aus, hat vielleicht schwarze Punkte, so ist dies ein Kennzeichen, daß das Eisen mehr Sauerstoff als Kohlenstoff enthält und daß es ungares Gußeisen sey. Wird das Eisen von der Feile nicht angegriffen, so ist es zu schnell abgekühlt; das langsam erkaltete oder nochmals durchglühete Eisen läßt sich von der Feile bearbeiten.

§. 263. Ueber die Kraft des Eisendrahtes haben Seguin und Dufour mehrere Versuche angestellt. So hat Seguin bemerkt, daß die Eisenstangen, je mehr sie in ihrer Beschaffenheit dem Gußeisen ähnlich waren, desto regelmäßigere und feinere Krystalle mit glänzenden und symmetrischen Platten zeigten, während ausgeschweißtes mit dem Hammer oder dem Zieheisen gestrecktes Eisen aus einer Menge von porösen Fädchen zu bestehen scheint, die um so feiner sind, je feiner der Draht selbst ist. Hieraus glaubt er schließen zu müssen, daß das dem Ziehen unterworfene Eisen in der Anordnung seiner Krystalle eine Modification erleidet, der es seine mehr oder weniger große Zähigkeit zu verdanken hat. Wenn wir annehmen, sagt er, daß das krystallisirte Metall aus mehreren Ordnungen von Krystallen gebildet sey, deren erste, im Bruche dem bloßen Auge wahrnehmbare, selbst aus einer Reihe von unendlich kleineren Krystallen nach einem solchen Gesetze bestehen, daß alle Mittel, welche wir anwenden, um ihm jede uns mögliche Veränderung der Gestalt zu geben, nur fähig sind, die Gestalt der Krystalle der ersten Ordnung zu verändern, indem sie die der zweiten Ordnung nur gegen einander schieben, so wird, nach der Art und Weise, nach welcher das Eisen gezogen ist, eine Verbindung zwischen der Adhärenz der Sei-

Digitized by Google

tenflächen der Krystalle erster Ordnung und der Cohäsion der Krystalle zweiter Ordnung entstehen.

Die von Seguin hierüber angestellten Versuche sind durch die Resultate der Versuche des Obristlieutenant Dufour zu Genf bestätigt.

Nach den von Seguin und Dufour angestellten Versuchen geht hervor, daß der 1 bis 4 und 5 Millimeter *) dicke Draht im Durchschnitt wenigstens 60 Kilogramme **) auf den Quadratmillimeter trägt. Nach den zahlreichen Versuchen, welche seit Muschenbroeck über die Kraft des geschmiedeten Eisens angestellt wurden, scheint es, daß Stangen, welche nicht mehr als 6 Millimeter Gevierte haben, nur 40 bis 45 Kilogramme tragen, und daß man bei dicke-

---

*) Metre ist bei den Franzosen das Grundmaß des Längenmaßes und hält den 10millionsten Theil des vierten Theils des Erdmeridians = 3′ 0″ $11\frac{44}{1000}$ Linien pariser Maß = 3 Fuß 2 Zoll und 2 Linien rheinl. Maß. Dieses Maß wird jederzeit nach der Decimalrechnung entweder vergrößert oder verkleinert und die Hinzufügung der griechischen oder lateinischen Decimalbenennung zu dem Grundmaß giebt den Namen. Die lateinischen Namen verkleinern, die griechischen vergrößern. Demnach hat man nun gebildet

a) zur Verkleinerung Decimetre $\frac{1}{10}$, Centimetre $\frac{1}{100}$, Millimetre $\frac{1}{1000}$.

b) zur Vergrößerung Deka zehn mal, hekto hundert mal, kilo tausend mal, myria zehntausend mal.

**) Kilogramme (nach dem Griechischen Chilios, tausend) ist ein Gewicht von tausend Grammen, als die Einheit des Gewichtes in Frankreich, welches die ehemaligen Groß oder Quintchen ersetzt. Es werden daraus durch Multiplication oder Division alle größern und kleinern Gewichte gemacht. So ist z. B. das Dekagramm ein Gewicht von 10 Grammen = $2\frac{1}{2}$ Quintchen, das Hektogramm ein Gewicht von 100 Grammen = 3 Unzen 2 Groß; das Kilogramm ein Gewicht von 1000 Grammen = 2 Pfund und $5\frac{7}{10}$ Groß, das Myriagramm ein Gewicht von 10,000 Grammen = 20 Pfund 7 Unzen 1 Groß. Dagegen ist das Decigramm ein Zehntheil des Grammes, Centigramm ein Hunderttheil des Grammes, Milligramm ein Tausendtheil des Grammes.

Digitized by Google

ren Stangen nur auf 25 bis 30 Kilogramme rechnen könne. Indessen hat man doch bemerkt, daß die Cohäsionskraft der Eisenstangen um so beträchtlicher ist, je weniger ihr Kaliber beträgt. Dies rührt höchst wahrscheinlich von der neuen Ordnung her, welche die Eisentheilchen unter einander annehmen, wenn sie weit mehr ausgeschweißt werden.

Aus jenen Versuchen leuchtet hervor, daß es weit vortheilhafter ist, beim Bau der Hängebrücken Drahteisen als geschmiedetes Stangeneisen anzuwenden; der Draht ist leichter zu behandeln und hat doppelte Kraft, man kann den Widerstand ganz genau nach der Anstrengung, die man zu überwinden hat, einrichten, indem man die gehörige Zahl von Drahtfaden anwendet, und man ist gegen die Gefahr brüchiger Stellen gesichert, die bei dicken Eisenstangen dem Auge nicht offenbar sind.

Das Ziehen des Drahtes durch das Zieheisen erzeugt auf der Oberfläche desselben eine Art von Epidermis, welche dichter ist, als die innern Theile des Drahtes. Ihr verdankt der Draht einen großen Theil seiner Kraft, und bei kleinen Stücken nimmt sie verhältnißmäßig einen größern Theil der transversalen Fläche ein, als bei Drahtstücken von größern Dimensionen. Daher mag es denn auch wohl kommen, daß der feinste Draht, z. B. der, welcher zur Verfertigung der Kardätschen gebraucht wird, auf den Quadratmillimeter einen Widerstand auf 80 Kilogramme leistet, während Draht von 24 bis 25 mal größerem Durchmesser eine Cohäsionskraft ungefähr nur von 60 Kilogrammen *besitzt*.

Obenstehende Bemerkungen über den Eisendraht sind aus folgendem Werke „der Bau der Hängebrücken aus Eisendraht nach Stevenson, Seguin, Dufour, Navier u. A., übersetzt von Berg, Leipzig 1824" entlehnt.

§. 264. Von der Dehnbarkeit des Eisens darf man nicht auf die Zähigkeit desselben schließen; denn nach den über den Widerstand des an beiden Enden gezogenen Eisens angestellten Versuchen sieht man, daß sprödes Eisen

Digitized by Google

nicht selten fast dasselbe Gewicht trägt, wie geschmeidiges. In obiger Schrift wird behauptet: für gewöhnliche Bedürfnisse könne man ungefähr 150 Kilogramme, oder 306 ℔ 7 Unzen 2 Groß französisches Gewicht auf eine Quadratlinie oder 120 Kilogramme = 245 ℔ 5 Unzen 4 Groß annehmen, in dem Zustande nämlich, wie es vom Hammerwerke in den Handel kommt. Allein bei wichtigern Unternehmungen muß man Versuche anstellen, indem man die Stange belastet, bis sie zerreißt.

§. 265. Ueber die absolute Festigkeit, sowohl des gegossenen als geschmiedeten Eisens, sind schon Versuche mit hinlänglicher Genauigkeit angestellt (s. d. Tabelle §. 25). In den neuern Zeiten haben französische Ingenieurs über die respective Festigkeit des Gußeisens Versuche angestellt, welche in folgender Tabelle, die wir aus Röders Brückenbaukunde entlehnt haben, enthalten sind.

Um diese Tabelle zu verstehen, wird dasjenige wiederholt, welches von der relativen Festigkeit erwiesen ist. Die respectiven Festigkeiten F, f zweier Stangen BHL und bhl verhalten sich gegen einander wie $F : f = \frac{BH^2}{L} : \frac{bh^2}{l}$ folglich ist

$$f = \frac{FL}{BH^2} \times \frac{bh^2}{l}$$

Um nun f zu finden, ist ein bekanntes $\frac{FL}{BH^2}$ erforderlich. Dieser Brechungs-Coefficient ist in der letzten Spalte berechnet.

Digitized by Google

Gegossene Eisenstangen auf festen Unterlagen in der Mitte belastet	Die Stangen waren breit = B	hoch = H	lang resp. = L	Sie zerbrachen unter einer Last F	Der Brechungs-Coefficient wurde demnach
	rheinl. Zolle			Pfunde	$\frac{LF}{BH^2}$
Versuch des Herrn Tonier von Norbeck	0,26	0,26	1,5	987	82689
	0,344	0,172	1,5	520	79200
	0,344	0,344	1,55	1717	65877
	0,344	0,344	1,55	1744	66481
		das arithm. Mittel		hieraus	73497
Von der Schule des Brücken- und Straßenbaues gemachte Versuche . .	1,03	1,03	4,66	6679	28483
	1,03	1,03	9,3	4129	35141
	2,06	2,06	9,3	19500	16170
	2,06	2,06	18,48	12223	18840
			hieraus im Mittel		24660
Von Gauthey	2,06	2,06	9,3	27632	29396
	2,06	2,06	18,3	15406	32665
Von Navier	0,78	0,78	2,7	8400	47800
Von Ramus: weißer Guß von Creuzot	3,1	3,1	161,2	2490	18477
grauer Guß von Creuzot . . .	3,1	3,1	161,2	3810	20615
Mittel a. mehreren Versuchen m. grauem Guß a. verschied. Ländern . .	3,1	3,1	161,2	3712	20085
2mal geschmolz. grauer Guß von Creuzot	3,1	3,1	161,2	3874	20962
			hieraus im Mittel		20420

Da man für die Ausübung nur Gebrauch von den Resultaten des Ramus machen kann, dessen Versuchstangen solche Dimensionen haben, wie sie bei eisernen Brücken vorkommen, so wird von Röder die Mittelzahl aus den drei letzten = 20420 als der Brechungs-Coefficient angenommen, und für die Sicherheit wird nur $\frac{1}{4}$ desjenigen Ge-

wichts in Rechnung gebracht, unter welchem eine eiserne Stange zerbrechen würde. Demnach ist der Brechungs-Coefficient nicht 20420, sondern 6800.

Es ist indessen doch rathsam, bei einer so wichtigen Unternehmung, als bei dem Bau einer eisernen Brücke, vorher besondere und sorgfältige Versuche mit dem dazu bestimmten Gußeisen anzustellen.

Gedruckt bei Fr. Brockhaus in Leipzig.

Digitized by Google

Digitized by Google

Berichtigungen.

Seite	1	Zeile 8 v. o.	ſtatt nun, lies nur
—	10	— 10 v. o.	— Kronge, l. Konge
—	59	— 10 v. o.	— GFCA. l. PFCA.
—	63	— 7 v. u.	— $\frac{3b^2 - c^2}{4h\,(3b-2c}$. P′. l. $\frac{3b^2 - c^2}{4h\,(3b-2c)}$. P′
—	68	— 2 v. o.	— B C l. B′ C′
—	69	— 14 v. o.	— AB : P — Q = CB : P = P = CA : Q. l. AB : P — Q = CB : P = CA : Q
—	74	— 15 v. u.	— $a\,\frac{(B+2b)}{3\,(b+B)}$ l. $\frac{a\,(B+2b)}{3\,(b+B)}$
—	92	— 17 v. u.	— daß die Tragkraft 3 iſt. l. daß die Höhe 3 iſt.
—	97	— 2 v. o.	— $1 : \sqrt{\frac{7}{16}} = 1{,}66$ l. $1 : \sqrt{\frac{7}{16}} = 1{,}066$
—	107	— 4 v. u.	— $A^2 : a^2$ l. $A^2 : a^2$
—	111	— 7 v. o.	— 11389 l. 11398.
—	114	— 12 v. u.	— Die Reibung iſt, wie bemerkt worden, vom Drucke der Größe, l. Die Reibung iſt, wie bemerkt worden, dem Drucke proportional, ſie iſt aber bei gleichem Drucke von der Größe —
—	117	— 11 v. u.	— $P = (Q + \frac{2}{3}$ Cosin. 89° 30′) 359 l. $P = (Q + \frac{2}{3}$ Cosin. 89° 30′)^{359}
—	127	— 12 v. u.	— AD : BE = BC : AB l. AD : BE = AC : AB.
—	129	— 8 v. o.	— $K = \frac{Q}{2n}$ l. $K = \frac{Q}{2^n}$
—	129	— 16 v. o.	— $\frac{1}{2}$ 2Q + $(\frac{1}{2}$ 2 + $\frac{1}{2})$ g. l. $\frac{1}{2}^2$ Q + $(\frac{1}{2}^2 + \frac{1}{2})$ g
—	129	— 13 v. u.	— $\frac{1}{2}$ 2Q + $(\frac{1}{2}$ 2 + $\frac{1}{2}$ + 1) g l. $\frac{1}{2}^2$ Q + $(\frac{1}{2}^2 + \frac{1}{2} + 1)$ g
—	129	— 6 v. u.	— $K = \frac{1}{2}$ nQ, l. $K = \frac{1}{2}^n$ Q
—	130	— 6 v. o.	— $\left(\frac{(QG)}{2n}\right)$ l. $\left(\frac{(Q-G)}{2^n}\right)$
—	141	— 9 v. u.	— Cosin. (90 = (β — a) l. Cosin. (90 — (β — a).

Digitized by Google

Seite 147 Zeile 8 v. u. statt hieraus l lies hieraus

— 175 — 13 v. u. — A, DF l. A, D, F.

— 184 — 12 v. o. — Wolfram l. Woltmann

— 209 — 10 v. o. — (C — x) l. (C — x) M

— 223 — 8 v. u. — eingeſchlagen l. eingezapft.

— 235 — 9 v. o. — 10, 4^2.65 l. 10.4^2.65

— 244 — 4 v. u. — wirkenden Kraft, l. wirkenden Kraft M:

— 244 — 3 v. u. — $M\frac{1}{3}\left[\frac{a.h.l(a-\gamma)}{2}\right.$ l. $\frac{1}{3}\left[\frac{a.h.l(a-\gamma)}{2}\right.$

— 244 — 2 v. u. — $\frac{}{\times 12\,h\,2\,a\,h^2\,l}$ l. $\frac{}{\times 12h)\,2\,ah^2\,l}$

— 245 — 5 v. u. — Dammſtürzungen l. Kammſtürzungen.

— 249 — 13 v. o. — P′ l. P

— 265 — 18 v. u. — andern l. andere

— 271 — 3 v. o. — 7,1200 l. 7.1200

— 272 — 3 v. o. — $\frac{(19^2 \times 8\frac{5}{6})\,12}{(6\frac{1}{3})\;3.86}$ l. $\frac{(19^2 \times 8\frac{5}{6})12}{(6\frac{1}{3})^3.86.}$

— 275 — 12 v. o. — Kiesbunde l. Kiesbänke.

— 289 — 19 v. o. — Ruthe l. Ruthe

— 291 — 1 u. 2 v. u. — des hydrotechniſchen Flügels Hamburg 1796. l. des hydrometriſchen Flügels Hamburg 1790.

— 301 — 1 v. u. — $M^2\,[(6+2h)(H+h)^3-(6+2(H+h))\,h^3]$ l. $M^2\,[(b+2h)(H+h)^3-[(b+2(H+h)]\,h^3]$

— 305 — 10 v. o. — BAB l. BAb

— 317 — 13 v. u. — Linderung l. Lieberung.

— 321 — 10 v. o. — GW l. gv

— 321 — 13 v. o. — cD l. cd

— 324 — 21 v. o. — n.Ab.μ l. n.A b.μ

— 334 — 8 v. u. — Fig. 164 l. Fig. 167.

— 356 — 15 v. u. — Welle ſind l. Welle C ſind

— 369 — 5 v. u. — darſtellt, ein, l. darſtellt, iſt ein

— 384 — 5 v. o. — D iſt, l. Df iſt

— 384 — 8 v. u. — J l. i

— 385 — 1 v. o. — Dampf f l. Dampf

— 386 — 8 v. o. — Steuerbaum zum, l. Steuerbaum ef Fig. 197 zum

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

JG 66846

Digitized by Google

Digitized by Google